



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

A desmaterialização e o efeito do intangível sobre a sustentabilidade do consumo global de materiais

António Manuel Martins Vaz

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia e Gestão Industrial
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor Tessaleno Devezas
Coorientador: Professor Doutor Abílio Silva

Covilhã, novembro de 2018

Ao Luis, ao Pedro e à Sofia.

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta Tese de Doutorado,

Ao Professor Doutor Tessaleno Devezas

Ao Professor Doutor Abílio Silva

Pelo apoio e orientação.

Resumo

A presente investigação pretende esclarecer se a interação multidisciplinar estabelecida entre as atividades económica, industrial e o consumo global de recursos naturais são compatíveis com um desenvolvimento sustentável.

Em primeira instância procedeu-se a uma metodologia quantitativa da evolução do metabolismo global, examinando o consumo de um conjunto de materiais com aplicações essencialmente industriais entre os anos de 1960 e 2015, com a finalidade de identificar alguma tendência de desmaterialização/*decoupling*. Os resultados obtidos não permitem afirmar perentoriamente que a sociedade está sob o efeito da “desmaterialização” mas entretanto, ressaltaram algumas tendências que admitem algum grau de otimismo.

Para uma melhor compreensão do tema desenvolveu-se uma abordagem para quantificar o esforço exigido pelos materiais ao longo do tempo para satisfazer uma determinada necessidade (IEME - Individual Effort Material Economy), examinando empiricamente a evolução das tendências quer do consumo dos materiais assim como dos seus custos associados, a nível global e *per capita* face ao Produto Interno Bruto (PIB).

Posteriormente, procurou identificar-se qual o impacto dos materiais no meio ambiente através de uma metodologia comparativa pela sua toxicidade, situação geoestratégica, risco de oferta, entre outros. Salienta-se que alguns materiais são de extrema relevância podendo funcionar como um elemento impulsionador ou retardatário para o desenvolvimento tecnológico.

No quarto capítulo realizou-se um levantamento das empresas a nível mundial com maior valor de mercado. Estas surgiram nas últimas décadas e difundiram-se de uma forma transversal por toda a sociedade dando corpo a empresas TIC com uma crescente componente intangível que aparentemente transportam o seu ADN para outras áreas de atividade. A digitalização surge como fio condutor de uma linguagem universal e globalizada por toda a cadeia de valor. Neste clima versátil e interativo, o valor reside com maior incidência na interoperabilidade entre os produtos e os serviços, o material e o digital.

Neste contexto a indústria reconfigura-se numa nova tecnoesfera alicerçada em ambientes *ciber* físicos, denominada como a quarta revolução industrial (Indústria 4.0). A mudança tecnológica tende a transformar as fábricas digitais em espaços “inteligentes”, descentralizados e otimizados face à transição de uma produção massificada para uma customizada e personalizada, com os respetivos benefícios inerentes. Os novos ambientes proporcionam inovações cada vez mais interativas, complexas e conectadas em que produtos e serviços *online* se fundem em inovações híbridas e partilhadas, permitindo estabelecer novas relações nos produtos como se de um contribuinte se tratasse, criando inclusivamente uma nova identidade.

Palavras-chave:

(Des)materialização - Intangível - Inovação tecnológica - Indústria 4.0 - Sustentabilidade

Abstrat

The present research aims to clarify if the multidisciplinary interaction established between economic, industrial and global consumption of natural resources are compatible with sustainable development.

As a first step, a quantitative methodology of the evolution of the global metabolism was examined, scrutinizing the consumption of a set of industrial materials between the years of 1960 and 2015, in order to identify some tendency of dematerialization / decoupling. The results obtained do not allow to affirm peremptorily that the society is under the effect of “dematerialization” but in the meantime, some trends have been highlighted that admit some degree of optimism.

For a better understanding of the theme, an approach was developed to quantify the effort required by materials over time to meet a specific need (IEME - Individual Effort Material Economy), empirically examining trends in both material consumption and their associated costs, both globally and per capita vis-à-vis the Gross Domestic Product (GDP).

Subsequently, it sought to identify the impact of the materials on the environment through a comparative methodology for their toxicity, geostrategic situation, supply risk, among others. It should be noted that some materials are extremely relevant and can act as a driving force or a latecomer for technological development.

In the fourth chapter, it is presented a survey of the companies with the highest market value worldwide. These have emerged in the last decades and spread in a transverse way throughout society, giving rise to ICT companies with a growing intangible component that apparently transports their DNA to other areas of activity. Digitization therefore appears as the guiding thread of a universal and globalized language throughout the value chain. In this versatile and interactive environment, the value lies with greater incidence in the interoperability between products and services, material and digital.

In this context the industry reconfigures itself in a new technosphere based on cyber-physical environments, named as the fourth industrial revolution (Industry 4.0). Technological change tends to turn digital factories into “smart” spaces, decentralized and optimized in the face of the transition from mass production to customized and personalized products, with inherent benefits. New environments provide increasingly interactive, complex and connected innovations in which online products and services merge into hybrid and shared innovations, allowing new product relationships to be established as if it were a taxpayer, even creating a new identity.

Keywords:

Dematerialization - Intangible - Technological innovation - Industry 4.0 - Sustainability

Índice

Introdução geral	3
CAPÍTULO I	
Padrão do Consumo Global de materiais	7
Introdução	7
1.1. O Desacoplamento X Desmaterialização	8
1.2. Trabalhos anteriores sobre a desmaterialização	11
1.3. Métodos e dados	15
1.4. Resultados	17
1.5. Discussão	29
1.5.1. O que é mais importante de salientar nos resultados?	29
1.5.2. Quando 2000-2010 falam	36
Nota Conclusiva	40
CAPÍTULO II	
O “esforço” exigido pelos materiais na economia (PIB) entre 1960 e 2015	41
Introdução	41
2.1. O esforço exigido pelos materiais na economia para satisfazer uma determinada necessidade	42
2.2. O esforço exigido por grupos de materiais	46
2.2.1. O esforço <i>per capita</i> exigido por grupo de materiais	49
2.2.2. Evolução comparativa entre grupos	52
2.3. O esforço exigido por material na economia	53
2.3.1. Metais	54
2.3.2. Semi-metais	57
2.3.3. Não metais	58
2.3.4. Minerais	59
2.3.5. Rochas e Pedras	61
2.4. Comparativo dos materiais impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelos custos associados	62
2.5. O esforço exigido pelos elementos que se encontram sob efeito de materialização	64
2.5.1. Por grupo de materiais	65
2.5.2. A importância do valor (V_s)	67
2.5.3. Evolução por material	69
Metais	69
Semi-metais	78
Não metais	79
Minerais	80
Rochas e Pedras	89
2.5.4. Comparativo do grau de importância relativa dos materiais por ordem decrescente	94
2.5.5. Os 10 materiais com aumento no esforço médio exigido	96
2.6. Falando de 2015	99
Nota Conclusiva	103
CAPÍTULO III	
Os Materiais e o Meio	105
Introdução	105
3.1. Classificação dos materiais	106
a) Situação geoestratégica	106
b) Toxicidade	106
c) Risco de oferta	108
d) Substituição	110
e) Aplicações	112
f) Reciclagem	112
3.2. Análise por grupo de materiais	114
3.2.1. Metais	115
3.2.2. SemiMetais	153
3.2.3. Não metais	159

3.2.4. Minerais	164
3.2.5. Rochas e Pedras	185
3.2.6. Outros grupos de materiais	191
3.2.6.1. Celulose e Derivados	191
3.2.6.2. Madeira	193
3.2.6.3. Fibras	194
3.2.6.4. Plásticos	195
3.3. Principais materiais sob o efeito de Materialização entre 1960 e 2015	197
3.4. Principais materiais sob o efeito de Desmaterialização entre 1960 e 2015	203
3.5. Análise comparativa entre o período de 2010-2015 e o de 1960-2015	206
Nota Conclusiva	211

CAPÍTULO IV

O efeito do intangível sobre o processo de inovação	213
Introdução	213
4.1. O intangível como matéria-prima	214
4.2. As inovações, de como se apresentam para como se representam	215
4.3. O intangível como recurso	219
4.4. Crescimento da IoT	227
4.5. Ambientes “inteligentes”	230
4.5.1. Mobilidade em ambientes inteligentes	234
4.5.2. Nova identidade dos produtos (Evolução)	239
4.5.3. Produtos e serviços personalizados em ambientes inteligentes	241
4.5.4. Otimização	243
4.5.5. Virtualização	244
4.5.6. Desafios da integração	245
4.6. O intangível nos <i>smartphones</i>	246
4.6.1. O <i>smartphone</i> na cadeia de valor	247
4.6.2. Análise comparativa do telemóvel entre 1973 - 2005 - 2017	249
4.6.2.1. Telefone móvel Dynatac 8000X	250
4.6.2.2. Telemóvel Nokia 1100	251
4.6.2.3. <i>Smartphone</i> iPhone 7	251
4.6.3. Patentes	254
4.6.4. O <i>design</i>	255
4.6.5. A marca	255
4.6.6. A tecnologia	256
4.7. Os novos líderes intangíveis	257
4.8. O fim das <i>startups</i> digitais?	259
4.8.1. Será que já colheram toda a “fruta mais acessível”?	260
4.8.2. Aquisições e fusões, as inovações tipo Pac-man?	261
4.8.3. O novo feudalismo das inovações digitais?	261
4.9. Aparentemente algo de novo está a acontecer... Será que o ADN das inovações está a mudar?	262
4.9.1. Inovações físicas/digitais	267
Nota Conclusiva	273

CAPÍTULO V

Plataforma 4.0	275
Introdução	275
5.1. A indústria na economia	276
5.2. Indústria quatro ponto zero	279
5.2.1. Contexto internacional	280
5.2.2. Impacto da Inovação nas economias	285
5.3. Um pouco de história	288
5.4. A quarta Revolução Industrial	290
5.4.1. Revolução, reindustrialização ou evolução?	290
5.5. O impacto da oferta e da procura na cadeia de valor	291
5.5.1. O Consumo (Pull) - Evolução	292
5.5.2. Da produção artesanal à personalização em massa (Push) - Revolução	293
5.6. Estratégia - Revolução ou Evolução?	296
5.6.1. Competição: Convergência de fronteiras	296
5.7. Novos Modelos de Negócio	297

5.8. Fluxos internacionais	301
5.8.1. Prosumer	304
5.9. Da Fábrica digital à “Fábrica Inteligente”	305
5.9.1. Impacto no contexto da produção (Evolução ou Revolução)	305
5.9.2. Segurança de dados	311
5.10. Tecnologias (Revolução)	312
5.10.1. Big Data	314
5.10.2. Robôs autónomos e “inteligentes”	314
5.10.3. Simulação	316
5.10.4. Sistemas de integração Horizontal e Vertical	317
5.10.5. A “Internet das coisas” (The internet of things)	317
5.10.6. Cibersegurança	318
5.10.7. A nuvem (The Cloud)	319
5.10.8. Manufatura aditiva	319
5.10.9. Realidade aumentada	320
5.10.10. “Inteligência Artificial” (IA)	320
5.11. Riscos e Benefícios	321
5.12. Ciclos das tecnologias emergentes	324
5.13. Método de Produção Aditiva (tecnologia disruptiva 3D)	326
5.13.1. Comparativo	329
5.13.2. Impacto da produção aditiva em economias de escala e de escopo	332
5.13.3. Combinação do Método Aditivo e Subtrativo	333
5.13.4. Impacto da tecnologia disruptiva no <i>design</i>	333
5.13.5. A transição...	334
5.13.6. Completamente novo	335
5.14. Novos materiais, novas estruturas	336
Nota Conclusiva	339
C A P Í T U L O V	
Conclusões finais	343
Referências Bibliográficas	

Acrónimos & Referências

3D	3 (três) dimensões
3G	3ª Geração
3R	Reduzir. Reutilizar. Reciclar
4G	4ª Geração
AAS	Sociedade Portuguesa de Inovação Ambiental
ABAL	Associação Brasileira de Alumínio
ACC	American Chemistry Council
ACGIH	Association Advancing Occupational and Environmental Health
ACS	American Cancer Society
ACS	American Chemistry Society
ACSMME	Assessoria de Comunicação Social do Ministério de Minas e Energia
ADAS	Advanced Driver-Assistance Systems
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AEA	Agência Europeia do Ambiente (EEA)
AHC	Austin Health and Clinical
AI	Artificial Intelligence
AM	Amplitude Modulation (Modulação em Amplitude)
AMP 2.0	Advanced Manufacturing Partnership 2.0
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
APP	Forma abreviada da palavra Aplicação
ASAE	Autoridade de Segurança Alimentar e Económica
ASP	Average Selling of Smartphones
ASTM	Sociedade Americana de Ensaios e Materiais
ATG	Aluminum Transportation Group
ATSDR	Agency for Toxic Substances & Disease Registry
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
B2G	Business to Government
BBC	British Broadcasting Corporation
BCG	Boston Consulting Group
BEV	Battery Electric Vehicles
BGS	Brithish Geological Survey
BIR	Bureau of International Recycling
BLS	Bureau of Labor Statistics
BM	Banco Mundial
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVIT	Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology
BNE	Biblioteca Nacional de Espanha
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BPI	British Phonographic Industry
BPMN	Business Process Model and Notation
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
C2C	Consumer to Consumer
CAD	Computer Aided Design
CAGR	Coumpound Annual Growth Rate
CCA	Chromated Copper Arsenate
CCPS	Collaborative Cyber Physical Systems
CD	Compact Disc
CDC	Centers for Disease Control and Prevention (US government)
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory.
CE	Comércio Eletrónico
CE	Comissão Europeia
CEBDS	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável
CEO	Chief Experience Officer
CEPAL	Comision Economica Para America Latina y el Caribe
CFLs	Compact Flurescent Lamps
CFRO	Carbon Fiber-Reinforced Polymer
CHIP	Community Health Improvement Process (various locations)
CIC	Center for International Communication
CIGS	Copper Indium Gallium Selenide
CIRFS	European Man-made Associação Fibers

CNC	Controlo Numérico Computadorizado
CO ₂	Gás carbónico
CPA	Composite Panel Association
CPPS	Cyber Physic Production Systems
CPS	Cyber Physical Systems
CRS	Corporate Social Responsibility
CSIA	Cyber Security and Information Assurance
CSIS	Center for Estrategical & International Studies
CSR	Corporate Social Responsibility
CTR	Cathode Ray Tube
DDM	Direct Digital Manufacturing
DE	Direto da extração
DED	Directed Energy Deposition
DFKI	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DGS	Direção Geral de Saúde
DIY	Do-It-Yourself
DMC	Direct Material Consumption
DMLS	Direct Metal Laser Sintering (sinterização a laser por metal direto)
DR	Diário da República
DRI	Direct Reduced Iron
DVD	Digital Video Disc (now Digital Versatile Disc)
EASME	Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises
EBM	Electron Beam Melting (fusão por feixe de eletrões)
EC	European Comission
ECF	Elementary Chlorine Free
ECHA	European Chemical Agency
EEA	European Environmental Agency (AEA)
EEE	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
EI	Estação Espacial Internacional
EHF	Electro-Hydraulic Fragmentation
EIA	Energy Information Administration
ELC	Environmental Literacy Council
ELV	End of Life Vehicles
EMSI	Economic Modeling Specialists Intl.
EPA	Environmental Protetion Agency
EPoSS	Sistemas Inteligentes e Integração
EPR	Extender Producer Responsibility
EPSC	European Political Strategy Centre
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EUA	Estados Unidos da América
EUIPO	European Union Intellectual Property Office - Europa EU
EuLA	European Lime Association
EuPC	European Plastics Converters
EUR	Euros
EV	Electric Vehicle
FAO	Food and Agriculture Organization (United Nations)
FAVES	Fleets of Autonomous Vehicles Electric Shared
FCC	Federal Communications Commission (USA)
FDA	Food and Drug Administration
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
FGD	Flue Gas De-sulfurization
FII	Future Investment Initiative
FM	Frequency Modulation (Modulação em Frequência)
FMI	Fundo Monetário Internacional
FoF	Factories Of the Future
G	PIB - Produto Interno Bruto. Representa a soma da riqueza gerada na economia.
G7	Grupo dos Sete (Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido)
GCI	Global Competitive Index
GDP	Gross Domestic Product
GDP PPP	Gross Domestic Product, Purchasing Power Parity
GDPA	Gypsum Products Development Association
GEA	German Engineering Association

GEE	Gases do Efeito de Estufa
GEME	Global Effort of Materials in Economics
GFN	Global Footprint Network
GM	General Motors
GOGLA	Global Off-Grid Lighting Association
GPDR	General Data Protection Regulation
GPO	Government Printing Office
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communication
Gt	Giga toneladas
GTAI	Germany Trade & Investment (Agência de Desenvolvimento Económico da Alemanha)
GW	Gigawatt
H2M	Homem para Máquina
HCI&IM	Human Computer Interaction and Information Management
HCSS	High Confidence Software and Systems
HDF	High Density Fiberbord
HECI&A	High End Computing Infrastructure and Applications
HECR&D	High End Computing Research and Development
HLW	High Level Waste
HMLI	High-level Machine Intelligence
HMT	Hybrid Manufacturing Technologies
HSE	Health and Safety Executive
HVMC	High Value Manufacturing Catapult
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IA	Inteligência Artificial
IARC	International Agency for Research on Cancer
IARC	Institute of Action Research for Community Health
IBSG	Internet Business Solutions Group (Cisco)
IC	Integrated Circuit
ICSG	International Copper Study Group
ICT	Information and Communications Technology
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health ou Imminent Danger to Life and Health
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IEME	Individual Effort of Materials in Economics
IFR	International Federation of Robotics
IIC	Industrial Internet Consortium
IIRA	Internet Industrial Reference Architecture
ILO	International Labour Organization
IMF	International Monetary Fund
INCM	Imprensa Nacional Casa da Moeda
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IoTG	Internet of Things Group (Grupo da Internet das Coisas)
IP (v4 e v6)	Internet Protocol
IPCS	International Programme on Chemistry Safety
IRP	International Resource Panel (PNUMA)
ISWA	International Solid Waste Association
IT	Inovação Tecnológica
ITU	International Telecommunications Union
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
IZA	International Zinc Association
LBS	Location-Based Service
LCA	Life Cycle Assessment
LCD	Liquid Crystal Display
LCE	Lithium Carbonate Equivalent
LDF	Low Density Fiberbord
LDPE	Low-Density Polyethylen (polietileno de baixa densidade)
LED	Light Emitting Diode
LME	London Metal Exchange
LOC	Lab-on-a-Chip
LOM	Production of Rolled Objects
LSN	Large Scale Networking
LTB	Language Technology Lab

M2M	Máquina para Máquina
MDF	Medium Density Fiberbord
MFA	Material Flow Analysis
MGCV	Material Global Consumptiomn Value
MGI	McKinsey Global Institute
MHPRA	Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency
MICV	Material Individual Consumption Value
MIT	Massachussets Institute of Technology
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP3	MPEG-1/2 Audio Layer 3
mppcf	millions of particles per cubic foot
MSDS	Material Safety Data Sheet
Mt	Materiais em toneladas métricas
NAMII	National Additive Manufacturing Innovation Institute
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEH	The National Center for Environmental Health
ND	Não Disponível
NEI	Nuclear Energy Institute
NESHAP	National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants
NFC	Near-Field Communication
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NITRD	Networking and Information Technology Research and Development Program
NNMI	National Network for Manufacturing Innovation
NP	Nanopartículas
NPCA	National Precast Concrete Association
NPD	Display Search Connected
NPL	National Precast Concrete Association
NRDC	Natural Resources Defense Council
NTP	National Priorities List (US EPA)
NUMMI	New United Motor Manufacturing, Inc
NY	New York
O2O	Online-to-Offline
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OLEDs	Organic Lighting Emitting Diode
OMC	Organização Mundial do Comércio
OMG	Object Management Group
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OSHA	Occupational Safety & Health Administration
P	População
P2C	Production to Consumer
P2P	Peer-to-Peer
P2P	Prosumer to Prosumer
PA	Polyamide (poliamida)
PA	Produção Artesanal
PBB	Bifenilos Polibromados
PBDE	PolyBrominated Diphenyl Ethers
PBF	Powder Bed Fusion
PC	Personal Computer
PCB	PolyChlorinated Biphenyls
PCC	Precipitated Calcium Carbonate
PCF	Processo Livre de Cloro
PEL	Permissible Exposure Limit
PET	<i>Polyethylene Terephthalate</i> (polietileno tereftalato)
PFCs	Perfluorcarbonetos
PGM	Platinum Group Metals
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Production in the Innovation Economy (Project)
PLA	Polylactic Acid (poliláctico)
PLC	Programmable Logic Controller
PM	Produção em Massa

PMC	Produção Massificada e Customizada
PNAS	National Academy of Sciences
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POP	Poluentes Orgânicos Persistentes
PP	Produção Personalizada
ppm	partes por milhão
PPP	Purchasing Power Parity
PS	Polystyrene (poliestireno)
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTIA	Printing Technology Industry Alliance
PVC	Polyvinyl Chloride
PwC	Price Waterhouse Coopers
R&D	Research and Development
RA	Realidade Aumentada
RAIS	Risk Assessment Information System
RAMI	Reference Architectural Model Industry (4.0)
RDC	República Democrática do Congo
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical Substances (EU)
REE	Rare Earth Elements
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
REL	Recommended Exposure Limit (NIOSH)
RFID	Radio Frequency Identification / Identificação por Rádio Frequência
RI	Revolução Industrial
RISE	Research Institutes of Sweden
RoHs	Restriction of Certain Hazardous Substances
RP	Rapid Prototyping
RPTC	Rede Pública Telefónica Comutada
RSC	Royal Society of Chemistry
RSC	Responsabilidade Social Corporativa
RSS	Regulated Substances Specification
RV	Realidade Virtual
SCF	Sistemas Ciber Físicos
SDP	Software Design and Production
SDSN	Sustainable Development Solutions Network
SETIS	Strategic Energy Technologies Information System
SEW IT	Social, Economic and Workforce implications of Information Technology
SHS	Selective Heat Sintering (sinterização por calor seletivo)
SIC	Socially Interactive Computing
SLOC	Source Lines of Code
SMEs	Small and Medium-sized Enterprises
SMLC	Smart Manufacturing Leadership Coalition
SMS	Short Message Service (cellular phone text messaging)
SoS	System of System
SUV	Suburban Vehicle
TCF	Total Chlorine Free
TEF	Total Effluent Free
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TO	Tecnologia Operacional
TV	Television
TWA	Time Weighted Average
UAVS	Unmanned Aircraft Vehicle System (drones)
UE	União Europeia
UF	University of Florida
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UIUC	University of Illinois Urbana Champaign
UL	Underwriters Laboratories
ULDF	Ultralight Density Fiberbord
UN	United Nations
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNEP	United Nations Environmental Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNIS	Universidade de Santa Cruz do Sul

UNTAD	United Nations on Trade and Development
UNU	United Nations University
UPU	União Postal Universal
USB	Universal Serial Bus
USDE	United States Department of Energy
USGS	United States Geological Survey
USPTO	U.S. Patent and Trademark Office
UTS	Universidade de Tecnologia de Sydney
UV	UltraVioleta (luz)
V_s	Valor da tonelada métrica do material a preços de mercado (US\$)
VA	Valor Acrescentado
VAT	Photopolymerisation
VHS	Video Home System
VLE	Vehicle Line Executive
WAN-IFRA	World Association of Newspapers and News Publishers
WB	World Bank
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEF	World Economic Forum
WFR	World Resources Forum
WHO	World Health Organization
WIPO	World Intellectual Property Organization
WNA	World Nuclear Association
WTO	World Trade Organization

Lista de Figuras

Figura 1	As quatro revoluções industriais.	289
Figura 2	O consumidor no centro da cadeia de valor.	292
Figura 3	Da Produção artesanal à Produção customizada	293
Figura 4	“Smiling curve” de Stan Shih – Valor agregado na produção industrial.	294
Figura 5	Processos na estratégia Corporativa 4.0	296
Figura 6	Comércio global do produtor ao consumidor.	303
Figura 7	Cooperação da Plataforma Indústria 4.0 e da Internet Industrial, Estratégia Corporativa na arquitetura dos modelos RAMI (referência para a indústria 4.0) e IIRA (referência para a Internet Industrial). Consórcio em iniciativas conjuntas de normalização e testes.	308
Figura 8	Evolução dos Sistemas Integrados aos Ciber Físicos.	313
Figura 9	Impacto das tecnologias emergentes.	322
Figura 10	“Ciclos de Hype” valor agregado na produção industrial. Representação gráfica da maturidade e adoção de tecnologias e aplicativos potencialmente relevantes para resolver problemas de negócios reais e explorar novas oportunidades.	324
Figura 11	Disponibilidade do mercado e maturidade tecnológica/aplicabilidade de tecnologias-chave.	326
Figura 12	Análise de rutura da produção convencional e a impressão 3D.	330

Lista de Gráficos

Gráfico 1	Comparativo na evolução do PIB per capita e do consumo de materiais globais per capita nos últimos cinquenta e cinco anos em que 1960 = 1. Neste período o PIB per capita mundial mais que triplicou e o consumo de materiais globais per capita aumentou somente cerca de 23%.	9
Gráfico 2	Evolução do consumo per capita na soma do conjunto de 114 materiais.	19
Gráfico 3	Evolução do consumo per capita no grupo Celulose e derivados	19
Gráfico 4	Evolução do consumo per capita no grupo da Madeira.	19
Gráfico 5	Evolução do consumo per capita no grupo das Fibras.	20
Gráfico 6	Evolução do consumo per capita no grupo dos Metais.	20
Gráfico 7	Evolução do consumo per capita no grupo dos Não Metais.	21
Gráfico 8	Evolução do consumo per capita no grupo dos Semi-metais.	21
Gráfico 9	Evolução do consumo per capita no grupo dos Minerais.	22
Gráfico 10	Evolução do consumo per capita no grupo das Rochas e Pedras	22
Gráfico 11	Evolução do consumo per capita no grupo dos Plásticos	22
Gráfico 12	Década por década, o progresso entre extremos - número de materiais que se apresentam sob o efeito da materialização versus desmaterialização, respetivamente.	26
Gráfico 13	Intensidade de uso do conjunto de 114 materiais a nível global no período compreendido entre 1960-2015.	30
Gráfico 14	Taxa de crescimento percentual anual do PIB a preços de mercado com base na moeda local constante.	37
Gráfico 15	Comparativo na produção de cimento - do total mundial, do total na China e do mundial sem a China.	38
Gráfico 16	Gráfico XVI. Diferença residual entre produção e consumo de cimento na China.	38
Gráfico 17	Consumo de cimento per capita nos EUA, na China e no resto do mundo (sem a China e os EUA).	39
Gráfico 18	Evolução do esforço percentual médio exigido no consumo mundial de 79 materiais (GEME), em percentagem do PIB.	48
Gráfico 19	Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo dos 79 materiais na economia (IEME) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	48
Gráfico 20	Evolução do esforço médio exigido per capita (IEME) no consumo do grupo dos metais na economia (IEM _{ME}) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	49
Gráfico 21	Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos semi-metais na economia (IEM _{SM} E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	50
Gráfico 22	Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos não metais na economia (IEM _{NM} E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	50
Gráfico 23	Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos minerais na economia (IEM _{MI} E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	51

Gráfico 24	Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo das rochas e pedras (IEM _{PR} E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).	51
Gráfico 25	Evolução do valor (US\$) da tonelada métrica de estrôncio entre 1960 e 2015.	68
Gráfico 26	Evolução do valor (US\$) da tonelada métrica de gálio entre 1960 e 2015.	68
Gráfico 27	Evolução do esforço médio per capita no consumo de estrôncio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	69
Gráfico 28	Evolução do esforço médio per capita no consumo de gálio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	70
Gráfico 29	Evolução do esforço médio per capita no consumo de índio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	71
Gráfico 30	Evolução do esforço médio per capita no consumo de alumínio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	72
Gráfico 31	Evolução do esforço médio per capita no consumo de cobalto a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	73
Gráfico 32	Evolução do esforço médio per capita no consumo de vanádio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	74
Gráfico 33	Evolução do esforço médio per capita no consumo de platina a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	75
Gráfico 34	Evolução do esforço médio per capita no consumo de magnésio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	76
Gráfico 35	Evolução do esforço médio per capita no consumo de boro a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	78
Gráfico 36	Evolução do esforço médio per capita no consumo de iodo a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	80
Gráfico 37	Evolução do esforço médio per capita no consumo de cimento a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	81
Gráfico 38	Evolução do esforço médio per capita no consumo de feldspato a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	82
Gráfico 39	Evolução do esforço médio per capita no consumo de terras raras a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	83
Gráfico 40	Evolução do esforço médio per capita no consumo de mica a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	84
Gráfico 41	Evolução do esforço médio per capita no consumo de wollastonita a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	85
Gráfico 42	Evolução do esforço médio per capita no consumo de zircónio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	86
Gráfico 43	Evolução do esforço médio per capita no consumo de rutilo a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	87
Gráfico 44	Evolução do esforço médio per capita no consumo de diamantes industriais a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	90
Gráfico 45	Evolução do esforço médio per capita no consumo de granada a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	91
Gráfico 46	Evolução do esforço médio per capita no consumo de bauxite a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	92
Gráfico 47	Evolução do esforço médio per capita no consumo de pedras preciosas a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.	93
Gráfico 48	Comparativo percentual na evolução da capacidade tecnológica de comunicar em formato analógico (vermelho) e digital (azul) a nível global entre os anos de 1985-2015.	221
Gráfico 49	Evolução no crescimento de tráfego IP global entre o ano de 1985 e o de 2017 com previsões até 2020.	222
Gráfico 50	Crescimento dos dispositivos na “Internet das Coisas” (IoT), entre o ano de 2000 e o de 2017, com previsões até 2020.	229
Gráfico 51	Tráfego de informação em formato digital por tipo de dispositivo, inteligente e não inteligente entre o ano de 2000 e o de 2017, com previsões até 2021.	233
Gráfico 52	Indústria Manufatureira no Produto Interno Bruto (PIB).	276
Gráfico 53	Países na Indústria 4.0	287

Lista de Tabelas

Tabela 1	Visão geral da mudança verificada nos principais indicadores nos últimos 55 anos.	17
Tabela 2	Consumo global por grupo de materiais e suas respetivas variações.	18
Tabela 3	Ilustração das designações entre a Materialização e a Forte Desmaterialização.	23
Tabela 4	Variação percentual do PIB PPP e da população mundial por décadas entre 1960 e 2015.	24
Tabela 5	Número de materiais individuais dentro dos respetivos limites década por década.	25
Tabela 6	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo da Celulose e derivados e entre o ano de 1960 e o de 2015.	26
Tabela 7	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo da Madeira e entre o ano de 1960 e o de 2015.	27
Tabela 8	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo das Fibras e entre o ano de 1960 e o de 2015.	27
Tabela 9	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo de Metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.	27
Tabela 10	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Semi-metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.	28
Tabela 11	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Não-Metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.	28
Tabela 12	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Minerais e entre o ano de 1960 e o de 2015.	28
Tabela 13	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo das Rochas e Pedras e entre o ano de 1960 e o de 2015.	29
Tabela 14	Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Plásticos e entre o ano de 1960 e o de 2015.	29
Tabela 15	MICV e IEME por grupo de materiais e respetivas percentagens na economia entre 1960 e 2015.	46
Tabela 16	Análise comparativa percentual dos diversos indicadores por grupo de materiais e respetiva variação média entre 1960 e 2015	52
Tabela 17	Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (31) do grupo dos metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.	56
Tabela 18	Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (6) do grupo dos semi-metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.	57
Tabela 19	Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (5) do grupo dos não metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.	58
Tabela 20	Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (31) do grupo dos minerais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.	60
Tabela 21	Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (7) do grupo das rochas e pedras e respetiva variação média entre 1960 e 2015	62
Tabela 22	Esforço global e per capita por grupo de materiais impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelo valor de 79 materiais entre 1960 e 2015.	63
Tabela 23	Esforço exigido global e per capita na economia dos 22 materiais sob efeito da materialização impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelo valor entre 1960 e 2015	65
Tabela 24	Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.	66
Tabela 25	Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos semi-metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.	67
Tabela 26	Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos não metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.	67
Tabela 27	Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos minerais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015	67
Tabela 28	Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo das rochas e pedras sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.	67
Tabela 29	Comparativo na evolução percentual do consumo (Mt) e do esforço médio despendido per capita a nível mundial (IEME) por ordem decrescente dos elementos que se encontram a materializar entre o ano de 1960 e o de 2015	95

<i>Tabela 30</i>	<i>Consumo de materiais que se encontram a materializar comparativamente à percentagem por ordem crescente do esforço exigido GEME a nível mundial em 2015.</i>	100
<i>Tabela 31</i>	<i>Grupo dos Metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre para 78 elementos.</i>	115
<i>Tabela 32</i>	<i>Grupo dos Semi-metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre em 78 elementos.</i>	153
<i>Tabela 33</i>	<i>Grupo dos Não-metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre em 78 elementos</i>	159
<i>Tabela 34</i>	<i>Grupo dos Minerais.</i>	166
<i>Tabela 35</i>	<i>Comparativo do valor percentual por estágio na cadeia de valor entre três modelos de smartphones, produzidos por empresas líderes de mercado no ano de 2017.</i>	248
<i>Tabela 36</i>	<i>Listagem de materiais utilizados nos dispositivos (telefone móvel, telemóvel e smartphone)</i>	250

Introdução geral

O consumo e a utilização de recursos naturais evoluem ao ritmo da extração que as técnicas e as tecnologias permitem face às necessidades expressas ou manifestas das populações. É reconhecida a importância dos materiais fundamentais para a evolução do Homem que inclusivamente concederam nomes a “Eras” como a da Pedra, do Bronze, do Ferro (...), traduzindo-se em vantagens como o domínio das técnicas e o poder das civilizações que as detinham, impulsionando o desenvolvimento e o progresso.

O último século pode ser caracterizado por um aumento demográfico e económico sem paralelo na história da humanidade. Transportou consigo um aumento do metabolismo global através da utilização mais intensiva dos recursos naturais com as inerentes consequências ambientais. Os materiais, progressivamente mais acessíveis provocaram uma significativa explosão na procura de produtos que sustentaram em grande medida o crescimento económico global do século XX. Ressaltando a questão: É possível aumentar o nível de vida e o bem-estar das populações segundo padrões de desenvolvimento que permitam crescer (económica/social/tecnológica) de uma forma sustentável diminuindo simultaneamente a utilização intensiva de matérias-primas e do seu impacto no meio ambiente?

Esta abordagem pretende esclarecer a interação estabelecida entre a economia e o consumo de materiais, também designada na literatura técnica por desmaterialização, ou seja, se existe desacoplamento entre o crescimento da riqueza gerada e o consumo recursos naturais. As matérias-primas são componentes fundamentais e estratégicas no desenvolvimento da economia e da sociedade, desempenhando um papel imprescindível na evolução da humanidade. A utilização de materiais mais leves assim como o ciclo de vida dos produtos podem interferir profundamente neste intrincado e complexo sistema. Para analisar os desenvolvimentos registados nos últimos 55 anos (1960-2015), procedeu-se a uma recolha exhaustiva de dados sobre um conjunto relevante de materiais industriais, apresentados e discutidos no primeiro capítulo.

A desmaterialização surge numa perspetiva da redução de material necessário para produzir algo de útil ao longo do tempo (Devezas *et al.*, 2017). Este conceito deriva fundamentalmente de contínuos melhoramentos técnicos, mas pode ser contrabalançado pelo efeito boomerang “*rebound effect* ou *Jevons paradox*¹”. Consequência entre outros motivos, das oscilações do consumo e dos custos associados. Todavia, esta premissa pode variar em função de um determinado rendimento disponível (PIB - Produto Interno Bruto), repercutindo-se como um fator indissociável no desenvolvimento tecnológico. Coloca-se outra questão: Qual o esforço ou “peso” exigido pelas opções tomadas no consumo do dia-a-dia para satisfazer uma necessidade?

¹ O “paradoxo de Jevons” ocorre quando o progresso tecnológico aumenta a eficácia com que um recurso é utilizado, mas a sua taxa de consumo aumenta devido ao incremento da procura (resultante da maior acessibilidade).

Neste contexto pretende-se desenvolver uma abordagem que quantifica o esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade, examinando empiricamente a evolução das tendências quer de consumo dos materiais assim como dos seus custos associados a nível global e *per capita*. No entanto, estes fatores podem repercutir-se na sociedade e na economia, funcionando como elemento impulsionador ou retardatário de um determinado desenvolvimento tecnológico. Esta perspetiva não pretende determinar se um material ou um conjunto de materiais sofre o efeito de materialização ou desmaterialização, mas resulta sim numa tentativa de esclarecer e proporcionar um melhor entendimento da variação dos custos e respetivas consequências no consumo global, por outras palavras, se a economia se encontra a desacoplar ou a dissociar dos recursos naturais.

As matérias-primas necessárias para a fabricação de produtos ou inovações que satisfaçam a atual sociedade são extraídas da natureza e processadas pela indústria com um diferenciado impacto quer social, humano, ou ambiental. Em consequência, analisou-se o metabolismo provocado por um conjunto de materiais categorizando-os mediante determinados critérios geoestratégicos, de toxicidade, risco de oferta e substituição. Posteriormente observaram-se os materiais que se encontram sob o efeito de materialização e desmaterialização entre 1960 e 2015, seguido de uma análise comparativa com o período de 2010-2015, determinando qual a dinâmica estabelecida entre estes dois períodos, averiguando se existe algum padrão na variação da utilização destes materiais, com especial ênfase para a mudança tecnológica.

O termo intangível considerado como algo imaterial, incorpóreo, ocupa uma crescente componente preponderante nas inovações e produtos do nosso quotidiano. A inovação tecnológica continua a impulsionar o crescimento económico sob determinados padrões inimagináveis há um século atrás. A utilização de conhecimentos no desenvolvimento de tecnologias visa melhorar as características e o seu desempenho na obtenção de produtos ou soluções que permitam ampliar as vantagens, repercutindo-se num aumento do nível de vida das populações. As tecnologias mais tradicionais aparentam ter um efeito insuficiente face ao impacto desejado na utilização sustentável dos recursos do planeta. Contudo, os países estão a implementar políticas gradualmente para a designada economia circular (European Commission, 2015) que quando conjugadas e orientadas com os serviços exigem tendencialmente um menor esforço e intensidade sobre os materiais.

A revolução industrial fomentou o aparecimento de um sistema musculado dando agora lugar a um sistema neural, no domínio do invisível (Arthur, 2011). A globalização da economia, antes baseada em territórios e fronteiras, transita para uma economia de redes, em que a matéria-prima e os fluxos deixam de ser predominantemente materiais. A desmaterialização não surge portanto numa conjuntura de negação do material, mas na introdução de novas alternativas e contextos.

Foram diversas as empresas que surgiram nas últimas décadas, da área das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), que aparentemente transportam o seu ADN para outras áreas de atividade, inclusivamente para setores de produção mais tradicionais. Este novo

contexto é resultante desta junção, uma nova tecnoesfera alicerçada em ambientes ciber físicos, denominada por muitos investigadores de 4ª revolução industrial. A iniciativa no fornecimento de soluções avançadas de produção é designada por “Indústria 4.0”. O objetivo desta plataforma assenta na aplicação prática de normas e de tecnologias, com o propósito de fomentar novos modelos de negócio anteriormente impulsionados pela oferta (*Push*) cedendo espaço aos que têm por base a procura (*Pull*). Pretende aumentar os níveis de produtividade industrial até 50% e reduzir simultaneamente para metade a quantidade de recursos necessários (GTAI - Germany Trade & Invest).

A mudança de tecnologias tende a transformar as fábricas digitais em “inteligentes”, mais colaborativas e descentralizadas. Transitam de uma produção massificada (unificada) para uma crescente componente customizada (modular), que une as unidades de produção, os fornecedores, os parceiros de negócio e os próprios clientes. A produção tradicional baseada no processo Subtrativo é complementada pelo processo Aditivo, resultando essencialmente numa diminuição dos desperdícios e da escala mínima de eficiência com os respetivos benefícios para o meio ambiente. Em simultâneo, expandem-se as economias de escopo disponíveis, aumentando a variedade e a complexidade das inovações. Os produtos daí resultantes, mais “inteligentes” (flexíveis e adaptáveis), quando distribuídos pelo mercado fornecem preciosas informações que dão origem à próxima rodada de inovações.

Este contexto digital e desmaterializado permitiu o aparecimento de inovações, antes predominantemente físicas mas que gradualmente incorporam novos conceitos intangíveis. Podem agregar uma nova identidade, inclusive um número de contribuinte, significando que cada produto consegue integrar informações compartilhadas e possuem até mesmo a capacidade de aprenderem uns com os outros, sem interferência humana.

As futuras inovações são imprevisíveis e caminham para resoluções que variam entre o possível e o desejável. Alguns investigadores questionam se a aceleração da mudança tecnológica permitirá desacoplar o meio ambiente da economia com o intuito de obter o desenvolvimento tão desejado.

A interação humana com o meio ambiente está entre os temas mais antigos da especulação, proporcionando diversas abordagens como a medição dos impactos, as alterações climáticas, a pegada ecológica, questionando as nossas atividades, inclusivamente a nossa existência futura. Em contrapartida, também não se pode escamotear que desde o início do século passado conseguimos praticamente duplicar a nossa esperança média de vida, um facto sem paralelo na história da humanidade.

Capítulo I

Padrão do consumo Global de materiais

Introdução

A humanidade enfrenta uma diversidade de desafios no início do século XXI. Se procedermos a uma investigação abrangendo uma percentagem razoável da população mundial, questionando-a sobre qual o maior desafio ou quais os maiores anseios por soluções e/ou ações de curto prazo, certamente as respostas iriam convergir para como manter o crescimento sustentável, erradicar a fome e retirar mil milhões de pessoas no mundo da pobreza extrema, gerindo os recursos naturais indispensáveis para o bem-estar de toda a população global num futuro próximo - mantendo em simultâneo o impacto ambiental dentro dos limites aceitáveis.

Atualmente existe um consenso razoável de que a utilização de matérias-primas pela população é um dos principais motores da mudança ambiental global. Quando se fala de “mudanças ambientais” refere-se a todos os tipos de impactos no meio ambiente, ou melhor, no esgotamento dos recursos naturais, a problemas que ocorrem durante a extração, no processamento de matérias-primas, bem como às emissões e resíduos que são devolvidos ao ambiente natural após o processamento e a utilização dos materiais. Sem dúvida, que o principal agente de mudança ambiental induzido pelo homem verificado durante o último século tem sido o crescimento quase exponencial do metabolismo industrial, ou seja, a introdução de materiais e de energia no sistema socioeconómico. Apesar de existirem sinais na diminuição das taxas de crescimento da população mundial, do Produto Interno Bruto na economia global (PIB) e do consumo *per capita* de materiais, ainda há imensa preocupação com o meio envolvente, com a capacidade de gerar riqueza e consequente bem-estar das populações.

Esta abordagem pretende esclarecer a interação entre a atividade económica e a utilização de materiais, ou por outras palavras, sobre a questão fundamental do “desacoplamento, dissociação ou *decoupling*” entre o crescimento económico e o consumo de materiais, um tema atual, argumentado por diversos investigadores um pouco por todo o mundo, também reconhecido na literatura técnica como “desmaterialização” da economia.

Esta análise averigua a produção mundial de um conjunto relevante de 114 materiais industriais entre 1960 e 2015, divididos em 9 grupos principais. São eles: Celulose e derivados (16 materiais), Madeira (11 materiais), Fibras (4 materiais), Semi-metais (6 materiais), Metais (33 materiais), Não-metais (4 materiais), Minerais (32 materiais), Rochas & Pedras (7 materiais) e Plásticos² (todos os plásticos como um único material). O objetivo foi o de procurar uma resposta para a pergunta: É possível manter a economia global em crescimento, reduzindo simultaneamente a quantidade de recursos materiais necessários para manter o ritmo de crescimento atual? Os resultados foram analisados no âmbito da teoria da desmaterialização e apesar de ainda não ser possível concluir que a sociedade se encontra sob o efeito da desmaterialização da economia global, os resultados apontam para que existam muitas razões para otimismo.

1.1. O Desacoplamento x Desmaterialização

Os termos desacoplamento e desmaterialização têm sido utilizados por economistas que lhes atribuem significados semelhantes, no entanto, dentro do contexto do presente trabalho é importante evidenciar algumas pequenas diferenças porque os supracitados termos não expressam exatamente o mesmo quadro conceitual.

Desacoplamento na sua forma mais simples consiste em reduzir a quantidade de recursos como a água, combustíveis fósseis ou minerais, utilizados para proporcionar o desenvolvimento económico através de sua dissociação da deterioração ambiental. Melhor dizendo, a dissociação é um conceito intrinsecamente associado à riqueza e aos aspetos ambientais decorrentes da utilização de materiais.

A dissociação aplicada aos recursos naturais surgiu do conceito de “ecoeficiência” desenvolvido no ano de 1992 pelo CEBDS - Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD - World Business Council for Sustainable Development), e da definição da OCDE de 2001 de desacoplamento ou seja de como romper o vínculo entre “bens económicos” e os “males ambientais”. Em 2004, a partir de um contexto de países em desenvolvimento, a Comissão Económica das Nações Unidas para a América Latina e o Caribe (CEPAL), promoveu a ideia de um “crescimento económico não material”. Consistia essencialmente em dissociar o crescimento económico do consumo de recursos. Como já

² Na tabela 14, são quantificados os termoplásticos e poliuretanos e outros plásticos termofixos também denominados de termoendurecidos (como adesivos, revestimentos e selantes).

NOTA: A apreciação individual dos tipos de plástico não foi realizada nesta investigação. Deve-se ao facto de agruparem uma diversidade de tipos de polímeros, com custos por tonelada bastante diferenciados entre si, inviabilizando (de momento) a sua análise.

demonstrado por diversos autores, como por exemplo Krausmann *et al.* (2009) e Steinberger *et al.* (2010) a dissociação é uma consequência da produtividade material, medida como produção económica por tonelada de material consumido. O *gráfico 1*, construído com os dados disponíveis até 2015, apresenta a essência do fenómeno do desacoplamento, sendo evidente que nos últimos 55 anos o rendimento *per capita* cresceu de forma mais acentuada, ao invés do consumo de materiais em todo o mundo *per capita* (mais detalhes sobre estas curvas e os dados utilizados serão descritos na *seção 1.3. Métodos e dados (pág 15)*).

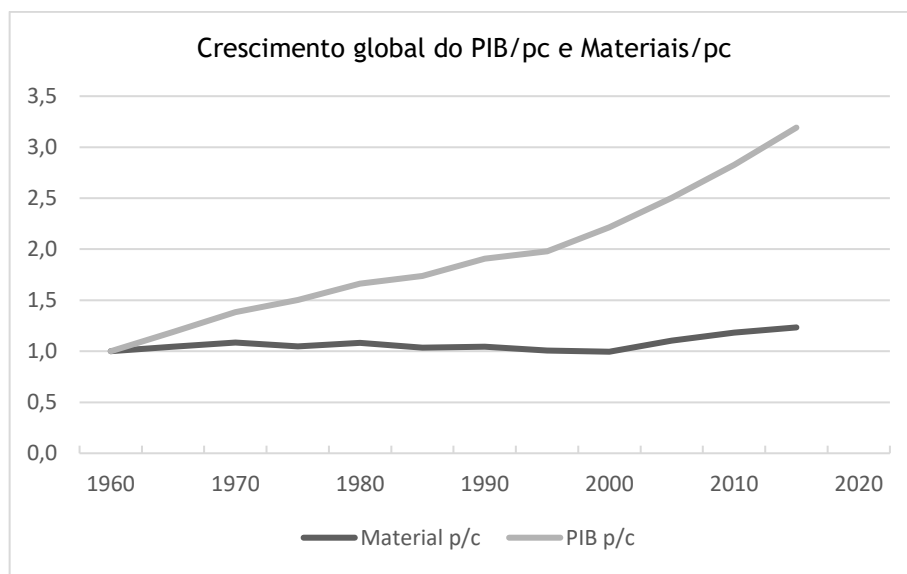


Gráfico 1. Comparativo na evolução do PIB per capita e do consumo de materiais globais per capita nos últimos 55 anos em que 1960 = 1. Neste período o PIB per capita mundial mais que triplicou e o consumo de materiais globais per capita aumentou somente cerca de 23%.

Todavia é muito importante ter em conta que não é somente a produtividade material que é responsável por esta clara diferença verificada nas taxas de crescimento, mas também outros fatores que contribuem para o crescimento do PIB, como por exemplo, o papel crescente nas últimas décadas da economia digital como já foi salientado por Brian Arthur (2011) e vários outros economistas. Na verdade, existem uma série de outras atividades económicas que hoje em dia contribuem de uma forma crescente para a riqueza (PIB per capita) que não exigem maiores consumos de materiais, um ponto que será comentado mais adiante.

Desmaterialização, por outro lado, tem talvez um significado mais restrito, sendo normalmente definido na literatura técnica, como a redução da quantidade de material (materiais e energia) necessária para produzir algo útil ao longo do tempo, que decorre essencialmente de aumentos contínuos na capacidade técnica. Ou seja, a desmaterialização é o fenómeno de redução da quantidade de material necessário para produzir o mesmo produto ao longo do tempo como uma consequência do progresso tecnológico, sendo caracterizado pela relação estabelecida entre a taxa de consumo de material e a taxa de melhorias tecnológicas para produzir um determinado bem.

Resumidamente, os economistas utilizam geralmente ambos os termos no sentido de “*fazer mais com menos*”. Mas, como exposto anteriormente, ambos os termos abrangem muito mais, cada um no seu respetivo contexto, que a contida nesta simples expressão.

Em 2007, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) estabeleceu o Painel de Recursos Internacional (IRP - International Resource Panel) com a missão de fornecer avaliações científicas independentes, coerentes e políticas relevantes sobre a gestão dos recursos naturais e do meio ambiente para o maior benefício líquido das gerações atuais e futuras. O IRP já elaborou dois extensos relatórios, o primeiro em 2011 sob o título “*Dissociação Natural- uso de recursos naturais e o impacto ambiental para o crescimento económico*” (IRP, 2011), e o mais recente (IRP, 2014) com o título de “*Dissociação II - Tecnologias, Oportunidades e Opções Políticas*”.

Ambos os relatórios alertam para o facto de que a sobre-exploração dos recursos, as alterações climáticas, a poluição, a mudança no uso da terra e a perda de biodiversidade, atingiram o topo da lista das principais preocupações ambientais ao nível internacional. Um dos resultados é que a “sustentabilidade” se tornou num imperativo global económico-social entre os governos, as organizações internacionais e as empresas. Presentemente, os líderes nestes sectores compreendem que fazer progressos no sentido de uma economia mais sustentável requer uma redução absoluta da utilização dos recursos a nível global, enquanto o bem-estar humano exige que as atividades económicas devam expandir-se, diminuindo simultaneamente o impacto ambiental (Mangan, 2016).

No primeiro relatório (2011), o Painel demonstrou que quebrar a ligação entre o bem-estar humano e o consumo de recursos é necessário e possível, mas na realidade ainda não se verifica. No relatório de acompanhamento (2014) os destaques do Painel apontam para as possibilidades e oportunidades tecnológicas existentes quer para os países desenvolvidos, quer para os países em via de desenvolvimento para acelerar a “dissociação” e recolher os benefícios ambientais e económicos do aumento da produtividade dos recursos. De salientar que o segundo relatório tem uma visão ligeiramente mais otimista que o primeiro, em relação à possibilidade real de obter “dissociação”. Os autores mostram que muitas técnicas e tecnologias de desacoplamento proporcionam aumentos significativos de produtividade dos recursos. Inclusivamente, muitas delas encontram-se disponíveis comercialmente e já são utilizadas em ambas as economias (desenvolvidas e em desenvolvimento). Estas tecnologias permitem que a produção económica seja alcançada com a utilização de uma menor quantidade de recursos, reduzindo o desperdício e economizando nos custos podendo alavancar a economia ou reduzir a sua exposição aos riscos dos recursos.

Mas “possibilidade” é diferente de “realidade”. O facto é que de grosso modo o século XX foi caracterizado por uma significativa explosão na procura de recursos materiais que deverá acelerar à medida que a população e os respetivos rendimentos continuam a crescer. Espera-se que mais de 3 mil milhões de pessoas beneficiem de níveis de rendimento da “classe média” nos próximos vinte anos, em comparação com os 1,8 mil milhões registados atualmente. Um relatório muito recente (GFN, 2016) afirma que “*se as atuais tendências demográficas e de*

consumo persistirem até à década de 2030, necessitaremos do equivalente a dois planetas Terra para nos dar suporte”. E claro, só temos um planeta!

Será possível atingir o objetivo de apoiar cerca de um terço da população do planeta dentro deste período de tempo atingindo o mesmo padrão de vida alcançado pelos países mais desenvolvidos, reduzindo a quantidade de recursos materiais necessários para manter a economia global em crescimento (em oposição ao modelo de decrescimento defendido por alguns economistas)?

O objetivo deste capítulo é fornecer estatísticas mais recentes e realizar uma análise empírica sobre o consumo mundial de materiais, o que sinaliza que a resposta à anterior pergunta é provavelmente positiva. Deve considerar-se o facto de que esta análise incidirá objetivamente em valores e estatísticas sobre o consumo e produtividade dos materiais e não sobre o impacto ambiental do metabolismo industrial, referindo para tal a “desmaterialização” nesta análise ao longo do trabalho.

1.2.Trabalhos anteriores sobre a desmaterialização

Uma das primeiras e mais importantes publicações sobre a questão do consumo de materiais globais surgiu no final de 1970 num livro publicado por Malenbaum (1978) com o título *“World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000”*. Neste livro, o autor apresentou uma perspetiva quantitativa sobre o consumo global de um conjunto importante de materiais, demonstrando uma tendência no declínio do crescimento no consumo primário. Malenbaum analisou um conjunto de 11 metais mais importantes utilizados na indústria que, seguindo o seu raciocínio, representam cerca de 80-90% do valor da produção mundial de minerais, englobando: o alumínio, o cromo, o cobalto, o cobre, o ferro, o manganês, o níquel, a platina, o aço, o tungsténio e o zinco. Na sua extensa análise, o autor aplica uma abordagem relativamente nova utilizando a medida da Intensidade do Uso (IOU), que resulta da relação estabelecida entre a quantidade de materiais (ou de energia) medidos em massa dividida pelo PIB. Aplicá-la ao conjunto (acima descrito) de materiais por regiões do mundo, incluindo alguns países específicos (como os EUA, Japão, União Soviética e China), utilizando dados de 1951 até 1971, permitiu-lhe projetar para o período entre os anos de 1971 - 2000. Assim sendo, identificou um padrão geral de curvas invertidas em forma de U (curvas de sino) para a maioria dos materiais e regiões/países analisados, concluindo que: *“Em suma, para a maioria dos materiais não existe uma visão de um mundo em amplo declínio na intensidade de uso”* (Malenbaum, 1978). O autor também constatou em 1971, a tendência geral de pontos de viragem nos países ricos, em cerca de US\$ 2 000 dólares. Ele atribuiu esta tendência à diminuição dos níveis de IOU e ao aumento da produtividade material em consequência do imparável progresso tecnológico. Igualmente importante, a observação de que o pico da intensidade no uso é alcançado pelos países em vias de desenvolvimento e subsequentemente, diminui ao longo do tempo (à medida que se transformam em países mais desenvolvidos economicamente).

Entre os materiais estudados por Malenbaum, a única evidência de aumentos líquidos de longos períodos em IOU dá-se no alumínio e em muito menor grau em metais do grupo da platina. Vale a pena mencionar que o autor não utilizou no seu livro qualquer referência ao termo “desmaterialização”. Tal conceito, só é utilizado no final da década de 1980, com maior intensidade na década de 1990, quando surgem alguns estudos expondo as descobertas de Malenbaum. Entre essas obras encontra-se um dos primeiros trabalhos que utiliza no título a palavra “desmaterialização” da autoria de Bernardini e Galli (1993). Estes afirmaram que o uso em geral da nova metodologia IOU, a análise da procura e consumo de materiais lançaram para o terreno o desenvolvimento de uma teoria da desmaterialização. Referiram que as regularidades no consumo de materiais encontrados por Malenbaum são a essência da base conceitual para tal teoria. Foram ainda mais longe, afirmando que *“Em conjunto os dois postulados implicam uma tendência de queda nas taxas de crescimento do consumo a nível mundial de materiais e de energia, dependendo da taxa de crescimento económico dos países em desenvolvimento e do mundo como um todo, nas próximas décadas, repercutindo-se numa diminuição em termos absolutos do consumo de materiais ao longo dos próximos 50 anos.”* Mais tarde num outro artigo, eles concluem que os resultados na época (1993) eram insuficientes para obter tal conclusão, recomendando uma análise mais aprofundada dos dados.

Deve ter-se em consideração os 3 pilotos principais identificados por Malenbaum e confirmados por Bernardini e Galli como responsáveis por esta tendência de queda:

- 1 - Mudanças nos tipos de bens e serviços finais que os consumidores mundiais e os investidores exigem diretamente;
- 2 - A evolução tecnológica que altera a eficiência com que as matérias-primas são descobertas, extraídas, transformadas, distribuídas e utilizadas na produção de bens finais;
- 3 - A substituição entre matérias-primas na sequência das oscilações de preços relativos e das taxas de desenvolvimento tecnológico.

Em 1989 foi publicado o primeiro trabalho com a simples palavra “desmaterialização” no título (Herman, Ardekani, e Ausubel, 1989). Neste estudo, os autores questionaram-se quanto ao facto da desmaterialização estar ou não a ocorrer. Eles recusaram-se a dar uma resposta direta a este tema e consideraram que as forças motrizes sociais por detrás da desmaterialização eram na melhor das hipóteses, diversificadas e contraditórias, além de acrescentar:

“A resposta depende, acima de tudo, sobre a forma como a desmaterialização é definida. A questão é particularmente interessante do ponto de vista ambiental, porque o uso de menos materiais poderia traduzir-se em menores quantidades de resíduos gerados, tanto na produção como nas fases de consumo...”

Os seus focos são principalmente dirigidos ao aspeto ambiental do fenómeno da desmaterialização. Sem dúvida, eles reconhecem que muitos produtos industriais se tornaram mais leves e apresentam menores dimensões. Mas “menos” não corresponde necessariamente a um menor impacto do ponto de vista ambiental, pois se o pensamento vai na procura de

produtos menores e mais leves também podem ser inferiores em qualidade, implicando produtos com ciclos de vida mais curtos e o resultado líquido poder-se-ia traduzir numa maior quantidade de resíduos gerados na produção e no consumo.

Além deste trabalho inicial, houve uma extensa investigação sobre a desmaterialização, muitas vezes definida como a redução da quantidade de materiais e/ou energia necessários para produzir algo útil ao longo do tempo. Alguma desta investigação, preconizada por Ausubel e Sladovick (1990) e Ausubel e Waggoner (2008), é encorajadora ao ressaltar contínuas descidas no consumo como uma fração do PIB. No entanto, outros investigadores como Ayres (1995), Schaffartzik *et al.* (2014), Senbel *et al.* (2003), Allwood *et al.* (2011), Gutowski *et al.* (2013), Schandel e Oeste (2010), Pulselli *et al.* (2015), não evidenciam uma perspetiva tão favorável sobre a desmaterialização global e em simultâneo, a continuação do crescimento económico. Gutowski *et al.* (2013) dão especial atenção na redução da quantidade de material necessário para cumprir uma determinada função (referido como "eficiência dos materiais") e apontam para o facto de que a diminuição do uso de materiais como fração do PIB não é sustentável caso não se verifique uma diminuição absoluta na utilização de recursos naturais.

Muito recentemente, Magee e Devezas (2016) analisaram o trabalho académico existente sobre a teoria da desmaterialização e propuseram a sua extensão focando uma questão fundamental inicialmente abordada por Bernardini e Galli (1993) e apontada por Kander (2005) como uma possível variável importante na análise de desmaterialização: a melhoria da capacidade técnica oferece um potencial significativo para o crescimento económico global contínuo, acompanhado por uma diminuição absoluta no uso de materiais no planeta? Magee e Devezas (2016) argumentam que esta é uma questão crucial, uma vez que os danos ambientais são difíceis de evitar, se a quantidade absoluta de materiais utilizados continua a aumentar. Na verdade, navegando por todo o trabalho anteriormente publicado sobre a desmaterialização, não se encontra nem uma análise satisfatória e cuidadosa desta questão nem uma resposta clara e objetiva à pergunta.

Magee e Devezas (2006) estenderam a teoria por consideração explícita, pela primeira vez na análise da desmaterialização, do progresso técnico contínuo na redução da quantidade de material necessário para uma determinada função, juntamente com a importante questão da recuperação também designada por "Paradoxo de Jevons" (Jevons, 1865), ou o postulado por Khazzoom-Brooks (Khazzoom, 1980; Brooks 1984, *ibidem*, 2000), como efeito ricochete (nos termos ingleses denominado de *boomerang* ou *rebound effect*). Seja qual for designação, o efeito envolve o aumento da procura associada à melhoria técnica que absorve parte da diminuição na procura em consequência de satisfazer uma determinada necessidade utilizando uma menor quantidade de material. Os autores não trataram a substituição entre tecnologias nem das mudanças estruturais na economia, mas apenas o resultado direto da mudança tecnológica do efeito ricochete durante longos períodos de tempo.

A teoria quantitativa desenvolvida por Magee e Devezas (2016) identifica regiões de possível desmaterialização quando a taxa de melhoria técnica é suficientemente elevada e a elasticidade da procura suficientemente baixa. Eles também desenvolvem uma metodologia

que é capaz de estimar a taxa de melhoria e a elasticidade da procura quando se conhece tanto o desempenho técnico e a produção em função do tempo. Usando os únicos dados deste tipo disponíveis (Nagy et al, 2013), Magee e Devezas (2016) concluem que ainda não existem evidências para a desmaterialização a longo prazo. No entanto, no presente trabalho os dados de desempenho não estão disponíveis para que se possa complementar ou alterar o estudo. Em contrapartida, analisaram mais recente e pormenorizadamente alguns grupos de materiais evidenciando tendências e padrões de uso potencialmente interessantes.

Encerrando esta secção é importante tecer alguns comentários sobre um livro de Vaclav Smil, intitulado “*Making the Modern World: Materials and Dematerialization*” (Smil, 2014). Nesta obra descreve-se em detalhe a história da utilização de materiais pelo Homem onde expõe várias estatísticas dos materiais mais importantes, bem como detalha a complexidade do fluxo de materiais no mundo moderno. Num dos capítulos Smil coloca a questão: “Estaremos a desmaterializar?”

Na tentativa de responder a esta questão complexa, o autor procura fazer uma distinção entre desmaterialização aparente e desmaterialização relativa.

Quando o autor menciona o caso de uma forma complexa de substituição de materiais (utilizando as suas palavras), em que uma tecnologia desaparece, o que implica retirar um determinado conjunto de materiais, é substituída por outra tecnologia muito mais complexa que envolve a utilização de maiores infraestruturas e claro, com uma maior variedade de materiais. Menciona alguns exemplos, mas talvez o mais interessante neste contexto é o caso da desmaterialização universal do *design* (novamente usando as suas palavras) que ocorreu após a introdução do CAD. O uso de estiradores, grandes quantidades de plantas em papel e armários de aço para armazenamento foram substituídos por gráficos eletrónicos visualizados através de ecrãs e salvaguardados em dispositivos magnéticos ou outros meios. O problema é que segundo a linha de raciocínio de Smil, essa nova tecnologia requer extensas infraestruturas computacionais, armazenamento redundante em massa de dados, ecrãs planos e *software* especializado, sem mencionar o aumento da procura de eletricidade.

Relativamente à segunda distinção, a desmaterialização relativa, ele considera a redução da entrada de materiais na produção, possibilitada por: 1- Melhorias graduais que não envolvem novos materiais, 2 - Substituição de materiais constituintes por alternativas mais leves ou mais duráveis, 3 - Intensificação da reciclagem e 4 - Introdução de novos dispositivos que executam funções desejadas com uma fração de massa necessária relativamente aos seus antecessores. Depois de analisar uma série de exemplos que ocorreram durante a segunda metade do século XX, conclui que “na esmagadora maioria de casos, as interações dinâmicas complexas de energia mais acessível, materiais menos onerosos e mais leves, bem como o fabrico mais otimizado, resultaram na propriedade omnipresente de uma maior variedade de produtos e numa utilização mais frequente de uma gama de serviços, os quais mesmo com reduções mais significativas de peso relativo que acompanham esses aumentos de consumo, não podem ser traduzidos em cortes absolutos na utilização geral de materiais”. Alegando, em

seguida, a ação do “*rebound effect*” ou “Paradoxo de Jevons” ‘já mencionados anteriormente ao comentar o contributo de Magee-Devezas, Smil afirma que a desmaterialização relativa tem sido um fator chave promovendo uma enorme expansão do consumo total de materiais.

Na sua análise, os argumentos de Smil, embora com base em dados relativamente escassos sobre os materiais e as tecnologias envolvidas, são expostos de uma forma discursiva e de alguma forma tendenciosa, com a intenção de demonstrar que “*menos tem sido um agente habilitador de mais*” (palavras suas). Embora a visão geral de Smil coincida qualitativamente com os resultados de Magee e Devezas, a última estrutura é mais acessível a testes extensivos ao longo do tempo. Dadas estas previsões em grande parte negativas quanto à hipótese de desmaterialização da economia é importante examinar minuciosamente e quantitativamente a evolução do uso de um dado conjunto de 114 materiais industriais importantes nos últimos 55 anos.

1.3. Métodos e dados

Para realizar o estudo estatístico mencionado anteriormente, examina-se a produção mundial de 114 materiais industriais entre 1960 e 2015, divididos em 9 grupos principais: Celulose e derivados (16 materiais), Madeira (11 materiais), Fibras (4 materiais), Semi-metais (6 materiais), Metais (33 materiais), Não-metais (4 materiais), Minerais (32 materiais), Rochas & Pedras (7 materiais), e Plásticos (como um único material).

As fontes de dados utilizadas sobre a produção mundial dos materiais foram:

Para as fibras: USDA (United State Departement of Agriculture), do Banco Mundial, CIRFS (European Man-made Associação Fibers), UNTAD.org (United Nations on Trade and Development) e FAO.org (Food and Agriculture Organization, da ONU); Metais, não-metais, semimetais e minerais: USGS (US Geological Survey); Celulose/Madeira: FAO.org (Food and Agriculture Organization, da ONU); Plásticos: PEMRG (Plastics Europe Market Research Group) e EuPC (European Plastics Converters).

É importante salientar que o presente estudo não representa uma tentativa de levantamento exaustivo do fluxo a nível global de todas as matérias-primas (MFA - Material Flow Analysis), por não se considerarem produtos alimentares (demasiado importantes, embora, de facto não se apliquem face ao atual conceito da desmaterialização), materiais extraídos a partir da biomassa (à exceção da madeira) assim como dos materiais provenientes da energia fóssil. O objetivo do presente trabalho foi limitado a verificar o desenrolar temporal nos últimos 55 anos dos materiais industriais mais utilizados, com a finalidade de verificar se era possível identificar alguma tendência na desmaterialização no uso deste significativo conjunto de materiais.

Este cálculo indica que as toneladas produzidas deste conjunto selecionado de materiais totalizaram no ano de 2015 cerca de 20,8 mil milhões de toneladas (Gt) (um aumento em cerca de 3 vezes, ou 200%, a produção do mesmo conjunto de materiais no ano de 1960). De acordo com estimativas (Krausmann *et al.* 2009; Schaffartzik *et al.* 2014; Steinberger *et al.* 2010) a extração de materiais globais no início do século XXI situava-se entre as 50 e as 60 Gt

(incluindo a biomassa; excluindo a energia fóssil), o que significa que o conjunto de materiais escolhidos para este estudo, representam cerca de um terço do total dos materiais utilizados pelos seres humanos. De destacar que os dados preconizados pelos autores se baseiam frequentemente em estimativas, em consequência da falta de fontes estatísticas. É o caso dos minerais não metálicos (areia, cascalho e pedras) constituintes do betão, utilizados principalmente na construção, determinados através de cálculos baseados sobre a produção de cimento para determinar o consumo médio. Tendo em consideração estes pressupostos os valores obtidos neste conjunto de materiais analisados proporciona resultados muito aproximados, além de atualizados para o ano de 2015. Ainda de acordo com os mesmos o consumo de materiais, *per capita* mundial em 2000 ascendeu a 8,1 toneladas por pessoa/ano; o presente cálculo para 2015, considerando o conjunto de 114 materiais, indica um consumo de 2,82 toneladas por pessoa/ano (um aumento de cerca de 23,4% em comparação com 1960) - novamente cerca de um terço do total do uso de materiais.

A partir das comparações realizadas anteriormente, podem retirar-se duas conclusões importantes:

Em primeiro lugar, sendo o objetivo deste trabalho o de identificar qualquer tendência para a desmaterialização, o conjunto de materiais industriais selecionados constituem os mais importantes relacionados com o metabolismo industrial global utilizados pelo Homem moderno.

Em segundo lugar, o aumento de consumo *per capita* (23,4% comparado com 1960) é menor do que o aumento verificado no consumo total global (199% comparado com 1960), o que implica que cada ser humano utiliza os materiais industriais de forma mais eficiente - uma conclusão que será abordada posteriormente neste capítulo (considerando que, no mesmo período a população cresceu 142%).

A maior parte desta análise é baseada em dados totais sobre a produção e extração dos materiais selecionados a nível mundial. Esta observação é importante porque, neste caso, exclui o comércio líquido de importações e exportações de materiais, o que seria indispensável para uma análise da produção e consumo das nações, individualmente. Ao nível do agregado, o comércio total líquido é zero, como também apontado por Steinberger *et al.* (2010), o montante para o total dos recursos extraídos (DE - Direct Extraction) é igual à quantidade total de recursos utilizados (DMC - Direct Material Consumption). Neste capítulo o único caso para o qual se teceram considerações sobre importações e exportações residiu na comparação (para alguns materiais mais consumidos) entre os EUA e a China (*seção 1.5.2. Quando 2000-2010 falam (pág. 36)*).

De entre os 114 materiais analisados, o mais significativo (relativamente às quantidades totais por tonelada) foi sem dúvida o cimento com uma quota de 19,6% e o minério de ferro com uma participação de 11%, seguido pelo aço com uma quota de 7,8%. Deve considerar-se que o cimento, além de ser o material mais consumido, tem a característica única (entre todos os materiais analisados) de ser aplicado quase que exclusivamente na construção civil, e não ser disperso entre muitas outras aplicações e transformações. Assim sendo, procedeu-se a um

estudo detalhado do mesmo não só a nível mundial, mas também para os maiores consumidores e produtores mundiais constituídos pelos EUA e pela China. Os restantes materiais tidos em consideração abarcam uma análise sobre as mudanças globais verificadas na evolução do consumo global em toneladas métricas, *per capita* e por unidade de PIB.

Os dados sobre a população mundial e produção mundial (PIB) foram obtidos através do Banco Mundial. Os dados relativos ao PIB foram considerados em paridade do poder de compra a preços do ano de 2011 (GDP PPP - Gross Domestic Product, Purchasing Power Parity), que como sabemos elimina diferenças nos níveis e paridades de preços entre economias, para que as diferenças no volume de atividade económica possam ser analisadas, permitindo um conjunto coerente de comparações espaço temporais. Os dados sobre a balança de transações comerciais (diferença entre as importações e as exportações), relativamente à China foram retirados do Bureau Nacional de Estatísticas da China.

1.4. Resultados

Na *Tabela 1* é apresentado um panorama das mudanças entre o ano de 1960 e o de 2015 dos principais indicadores analisados neste estudo, ou seja, PIB PPP (Produto Interno Bruto, Purchasing Power Parity), a população mundial, o consumo global de 114 materiais assim como *per capita*. A partir dos números apresentados na *tabela 1* podem salientar-se dois aspetos principais:

1) A produção global (PIB) cresceu 7,74 vezes no último meio século, enquanto no mesmo período a população mundial cresceu 2,42 vezes e o consumo global dos 114 materiais selecionados cresceu 2,99 vezes. A capacidade humana em gerar riqueza cresceu mais rápido do que os indicadores da população, e o consumo de materiais não segue necessariamente na mesma proporção. Por outras palavras, o crescimento da população mundial acompanha em certa medida o da variação no consumo de materiais, no entanto representa somente um terço do gerado pela economia.

2) Reforçando a conclusão anterior, podemos ver que a riqueza individual (PIB / capita) mais que triplicou, enquanto o consumo de materiais por pessoa aumentou somente 23%, como salientado anteriormente no *gráfico 1* (pág. 9).

Tabela 1. Visão geral da mudança verificada nos principais indicadores nos últimos 55 anos.

	PIB PPP (2011) US \$	População Mundial	PIB PPP per capita	Consumo de 114 materiais (toneladas métricas)	Consumo <i>Per capita</i> 114 materiais
1960	14.01×10^{12}	3.03×10^9	4.61×10^3	6.93×10^9	2.28 t/year
2015	108.41×10^{12}	7.36×10^9	14.74×10^3	20.71×10^9	2.81 t/year
Variação	674%	142%	219%	199%	23.4%

A *tabela 2* na página seguinte, apresenta a progressão do consumo bruto de cada um dos 9 grupos de materiais analisados e suas respetivas variações percentuais.

Ao observar a *tabela 2* podemos destacar que entre os 9 grupos de materiais, os que apresentam maiores taxas de crescimento foram lideradas pelos Plásticos (~ 46 vezes) e Rochas

& Pedras (~ 11,6 vezes), seguido por Semi-metais (10,6 vezes). Tendo os restantes grupos apresentado crescimentos inferiores aos registrados pelo PIB PPP. Mas a característica mais marcante a ser salientada na *tabela 2* é a transformação radical analisada nas ações durante o intervalo de tempo observado. Enquanto em meados do século passado, o material mais consumido (de longe) foi a família da Madeira (participação ~ 70%), a sua quota encontra-se reduzida para cerca de metade (~ 37%) no início do presente século, um aspeto fundamental para ser considerado mais tarde nesta discussão sobre a sustentabilidade do crescimento económico contínuo. O espetro do grupo mais alterado reverte para o consumo dos minerais, que saltam dos 16% verificados em 1960 para 37% em 2015, principalmente devido ao enorme crescimento verificado no consumo de cimento e de feldspato, como será discutido mais tarde.

Tabela 2. Consumo global por grupo de materiais e suas respetivas variações.

	Celulose & Derivados	Madeira	Fibras	Metais	Semi-metais	Não metais	Minerais	Rochas & Pedras	Plásticos
1960 (Milhões de toneladas)	282	4807		643	1.48	19.70	1113	39.82	6.65
1960 (%)	4,07%	69,4%	0,22%	9,28%	0,02%	0,28%	16,07%	0,57%	0,096%
2015 (Milhões de toneladas)	1347	7633	94.14	3029	17.18	69.27	7712	503.3	312.00
2015 (%)	6.50%	36.84%	0.45%	14.62%	0,08%	0,33%	37,23%	2,43%	1.51%
Variação 1960-2015	378%	59%	14.93	371%	1059%	252%	593%	1164%	4592%

Mas não devemos esquecer que estas medidas se referem à tonelagem absoluta dos respetivos grupos e que os materiais considerados nesta análise têm “pesos” específicos muito díspares, e que também são utilizados em diferentes quantidades nas suas respetivas aplicações industriais. Este é outro aspeto importante a ser considerado mais à frente nesta investigação sobre as tendências da desmaterialização. Veja-se por exemplo o caso dos Plásticos que mudaram sua participação de apenas 0,09% para uns significativos 1,44% (*gráfico 11, pág. 22*), considerando-se que é o mais leve dos materiais considerados e supostamente com benefícios económicos e ambientais, abordado mais pormenorizadamente na *página 34, item 6*.

Antes de prosseguir com as especificidades da evolução do consumo de cada um dos 114 materiais analisados, vale a pena observar o consumo *per capita* de cada grupo de materiais desde 1960, assim como o conjunto completo de 114 materiais, demonstrado nos próximos 10 gráficos (*gráficos 2 a 11*, medidos em intervalos de 5 anos).

1) O consumo mundial *per capita* do conjunto completo de 114 materiais (*gráfico 2*) diminuiu ligeiramente (0,46%) entre 1960 (2,28 t / Per capita) e 2000 (2,27 t / Per cap.), mas aumentou cerca de 24% após esta data (2,81 t / Per cap. em 2015). Isto é, o aumento registado na *tabela 1*. e comentado anteriormente na *seção 1.4. Resultados (pág, 17)*, ocorreu somente após o início do novo século.

2) O consumo *per capita* de Celulose & derivados (gráfico 3) aumentou cerca de 61% entre 1975-1995, estabilizando após esta data, diminuindo posteriormente 8,5% entre 2010 (198 kg/*per cap.*) e 2015 (183 kg/*per cap.*), anunciando uma importante tendência para a diminuição do consumo de papel.

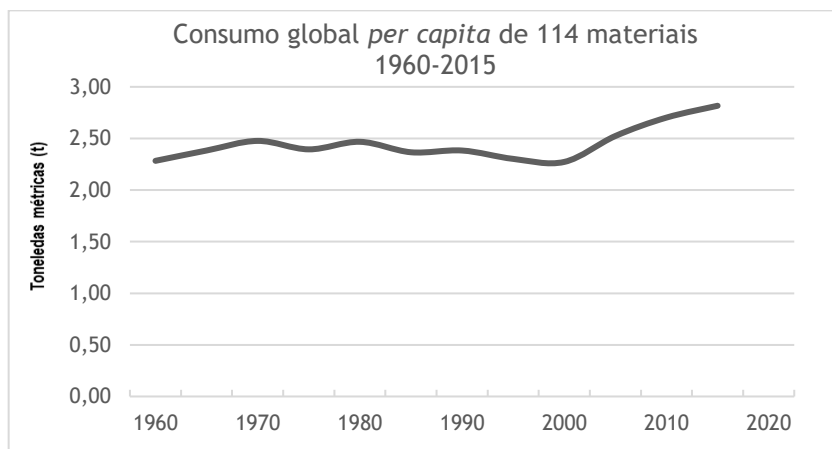


Gráfico 2. Evolução do consumo *per capita* na soma do conjunto de 114 materiais.

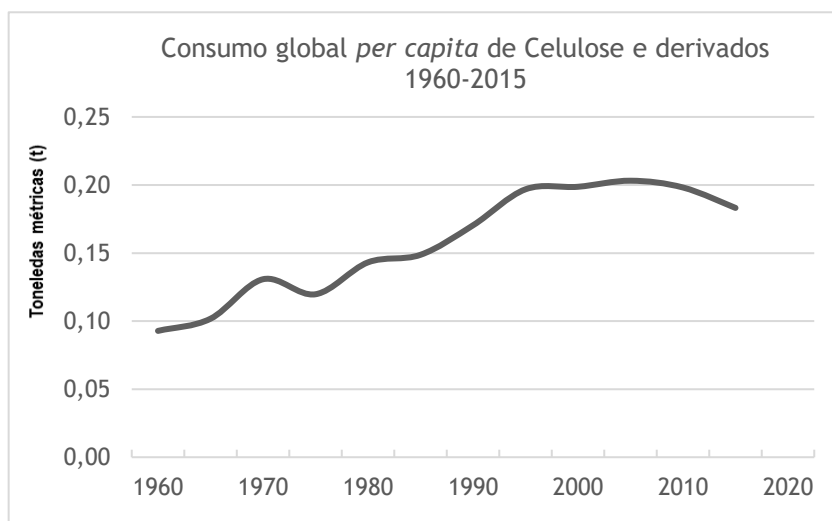


Gráfico 3. Evolução do consumo *per capita* no grupo Celulose e derivados.

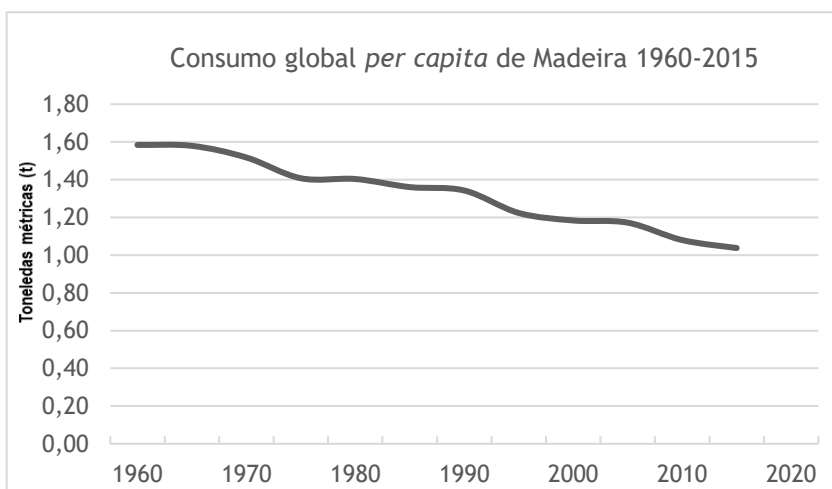


Gráfico 4. Evolução do consumo *per capita* no grupo da Madeira.

3) O consumo *per capita* de Madeira (gráfico 4) é o único caso onde podemos analisar um declínio constante em todo o período observado, traduzindo visualmente a redução da participação de ~70% para ~37% referidos anteriormente sobre a *tabela 2*. O consumo global de todos os tipos de Madeira diminuiu de 1,58 t/*per cap.* em 1960 para as 1,04 t/*per cap.* em 2015.

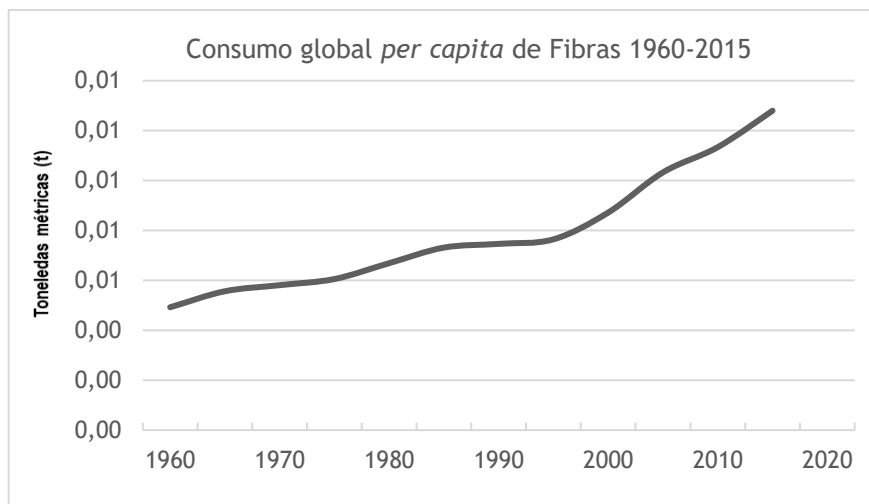


Gráfico 5. Evolução do consumo *per capita* no grupo das Fibras.

4) O consumo *per capita* de fibras (gráfico 5) aumentou de forma uniforme no período entre 1960-1995 e evidenciou uma tendência de alta a partir de 2000, principalmente devido a um aumento do consumo de fibras sintéticas. Esta classe de material representou apenas cerca de 5% do total dentro do grupo, em 1960, mas saltou para 67% em 2015. Uma tendência inversa foi apresentada pelo algodão, que diminuiu de 68% em 1960 para 25% no ano de 2015.

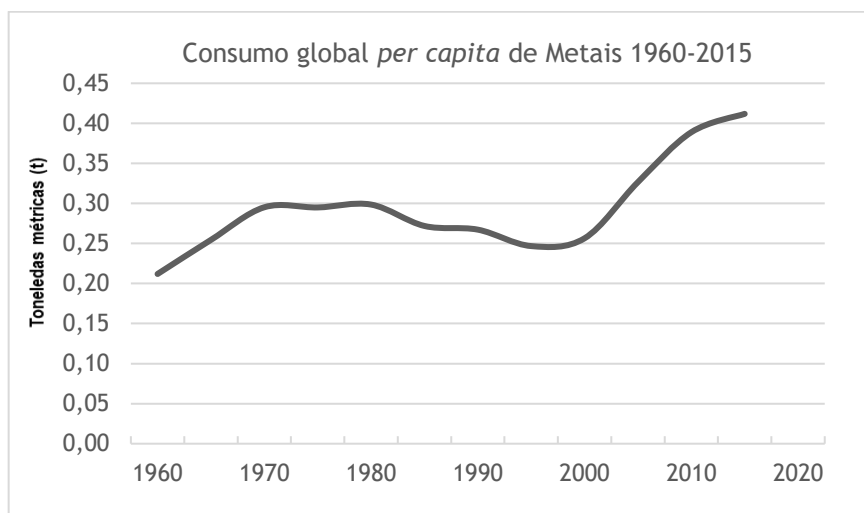


Gráfico 6. Evolução do consumo *per capita* no grupo dos Metais.

5) O consumo *per capita* de Metais (gráfico 6) diminuiu cerca de 13% entre 1970-2000, mas aumentou significativamente após esta data até 2010. Nos últimos anos, o consumo bruto do conjunto de 33 metais parece ter estabilizado.

6) O consumo *per capita* de Não-metais (gráfico 7, na página seguinte) apresenta um comportamento curioso, aumentando a partir de 1960 até ao ano de 1975 (12,5 Kg), mas diminuindo após essa data em cerca de 25%, entretanto parece ter estabilizado com um consumo líquido aproximado de 1 kg/*per capita* nos últimos anos revelando uma tendência descendente.

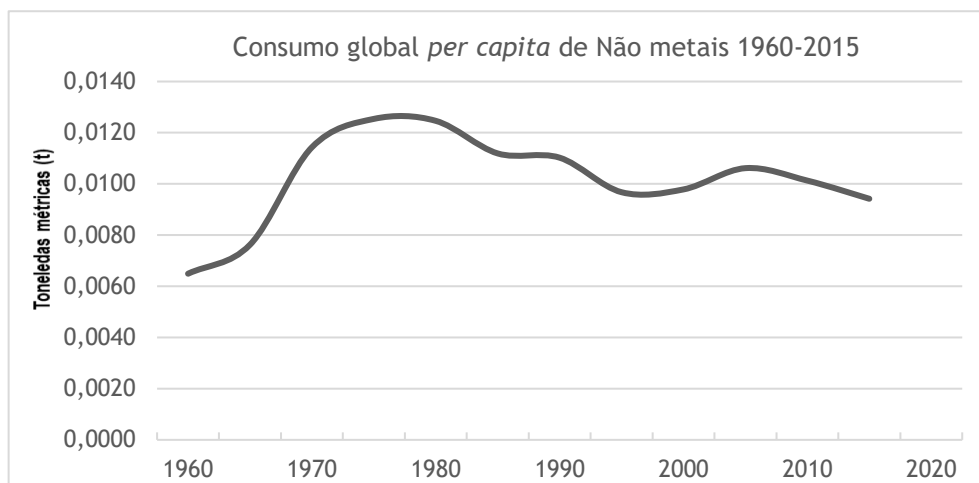


Gráfico 7. Evolução do consumo per capita no grupo dos Não Metais.

7) O consumo *per capita* de Semi-metais (gráfico 8) estabilizou entre 1960 e 1975, aumentando posteriormente até 2010 para 1,63 Kg/*per cap*. Sofreu após essa data um aumento mais abrupto em cerca de 43,7% para os 2,3 Kg/*per cap*. Em consequência do boro, que mais que duplicou o seu consumo entre 2010 e 2015 passando a ser o material com maior destaque do grupo representando mais de metade de toda a produção.

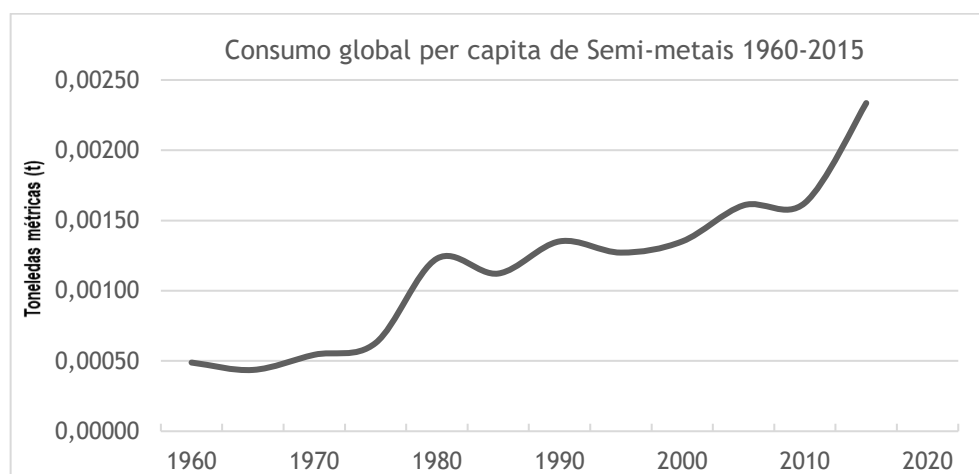


Gráfico 8. Evolução do consumo per capita no grupo dos Semi-metais.

8) O consumo *per capita* de Minerais (gráfico 9, na página seguinte) manteve-se praticamente constante de 1975 até 2000, mas cresceu acentuadamente (93%) após esta data, passando dos 544 Kg/*per capita* do máximo atingido nesse período, para cerca de 1049 Kg/*per*

cap. no ano de 2015. Este crescimento traduz visualmente a mudança na participação (como salientado anteriormente) quando se abordam os valores apresentados na *tabela 2*, e está relacionado com o enorme crescimento do consumo de cimento observado após o ano de 2000, representando mais de metade (53%) da produção total do grupo de minerais em 2015 – uma abordagem mais detalhada sobre este ponto é apresentada na *seção 1.5.2. Quando 2000-20110 falam* (pág.36).

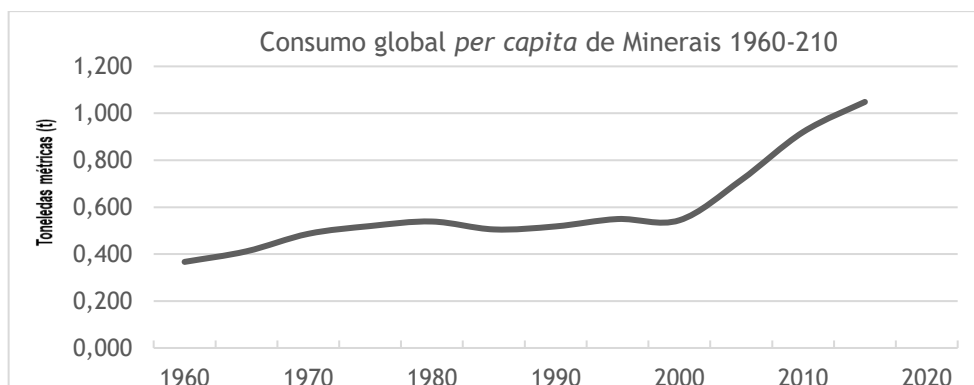


Gráfico 9. Evolução do consumo per capita no grupo dos Minerais.

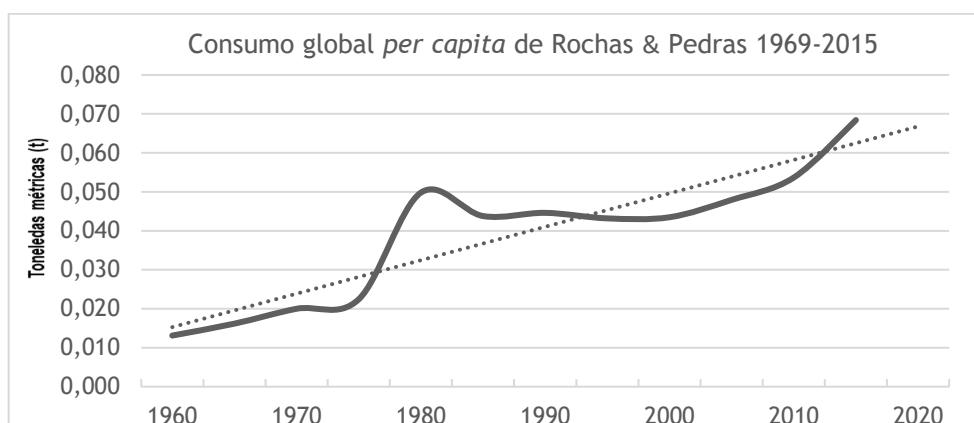


Gráfico 10. Evolução do consumo per capita no grupo das Rochas & Pedras

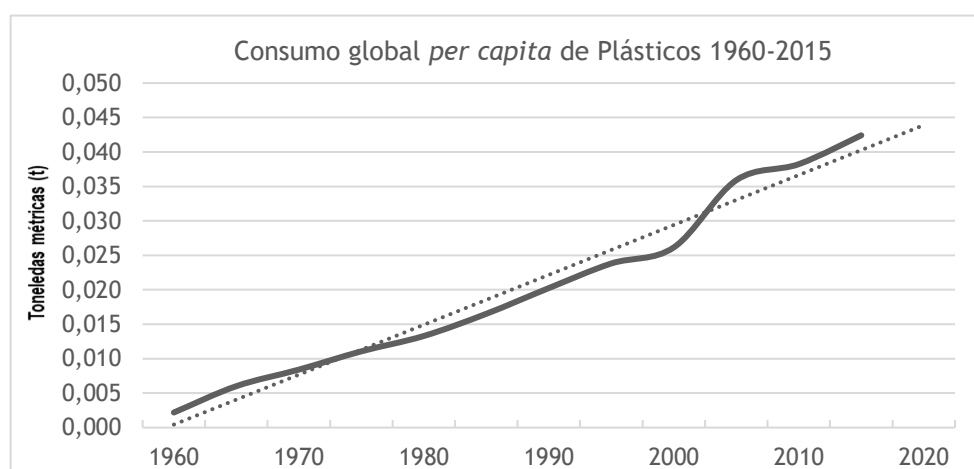


Gráfico 11. Evolução do consumo per capita no grupo dos Plásticos

9) O consumo *per capita* no grupo das Rochas & Pedras (*gráfico 10*) e dos Plásticos (*gráfico 11*) aumentaram ao longo do período observado em 475% e 1 267% respetivamente, mas com a diferença de que os Plásticos cresceram uniformemente, enquanto as Rochas & Pedras aumentaram no período compreendido entre o ano de 1975 e o de 1985, posteriormente diminuíram até ao ano de 2000, crescendo novamente depois de 2005.

Vamos agora examinar o desenvolvimento de cada um dos 114 materiais selecionados, apresentados por grupos em 9 *tabelas* (6. a 14.) e a sua variação percentual, década após década desde o ano de 1960. Na construção destas tabelas foram utilizados os seguintes critérios para a definição de limites de desmaterialização dentro da lógica da sustentabilidade, representada graficamente e por cores na *tabela 3*:

① **Materialização** – Ocorre quando a produção/consumo de matérias-primas supera os índices do crescimento da riqueza gerada (PIB). Este limite está de acordo com as definições anteriores, mas numa economia em crescimento manifesta-se numa utilização mais intensiva dos materiais ao longo do tempo.

② **Fraca desmaterialização** – Compreende os materiais que registam um crescimento na produção/consumo inferior ao crescimento do PIB, mas superior aos verificados pela população, como já referido por Ziolkovski e Ziolkovska (2011).

③ **Moderada desmaterialização** – quando os índices de crescimento do consumo/produção de matérias-primas são positivos, no entanto inferiores aos dos registados pela população.

④ **Forte desmaterialização** – a fronteira da forte desmaterialização é ultrapassada quando há uma diminuição absoluta na utilização de materiais ao longo do tempo - apesar do crescimento económico ou do aumento da população.

Tabela 3. Ilustração das designações entre a Materialização e a Forte Desmaterialização.

Materialização	Fraca Desmaterialização	Moderada Desmaterialização	Forte Desmaterialização
① Xx %	② Xx%	③ Xx%	④ Xx%

A última transição referida é o limite de pleno suporte na obtenção da sustentabilidade. Pretende-se observar os limites para os diversos tipos de materiais selecionados e tentar analisar todos os dados ou se a trajetória efetuada pela civilização se dirige nesse sentido.

Nas tabelas seguintes utilizam-se os supracitados critérios de cores e numeração para diferenciar a Materialização - Fraca desmaterialização - Moderada desmaterialização - Forte desmaterialização (absoluta), considerando que a variação percentual do PIB PPP (2011) e população mundial são apresentadas na *tabela 4*. Por exemplo, a caixa a castanho-escuro com letras abertas a branco significa que a variação percentual dos materiais ultrapassa a do PIB PPP entre décadas (materialização), e assim por diante.

Uma análise rápida a este conjunto de tabelas dá-nos a sensação de um comportamento muito dispar que ocorre entre os diferentes materiais: alguns ultrapassaram o limite ③, outros há que nem sequer passam a fronteira ①, e vários outros materiais são expostos a oscilações onde se verificam quer um aumento e/ou diminuição do consumo pelas sucessivas décadas.

Tabela 4. Variação percentual do PIB PPP e da população mundial por décadas, entre 1960 e 2015.

	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
PIB-PPP (2011)	68%	45%	37%	34%	45%	20%	674%
População	21%	20%	19%	16%	13%	6%	142%

Visualizando a última coluna dessas tabelas (variação percentual total entre 1960-2015) observa-se:

1) Dos 26 materiais que se apresentam sob o efeito da materialização (mudança de consumo superior à variação do PIB), representam menos de um quarto dos materiais analisados (excluindo o cimento – ver mais à frente na próxima secção), no entanto a sua soma representou em 2015, apenas 5,5% do total do peso total dos grupos. Alguns destes casos inclusivamente são benéficos para o meio ambiente, como por exemplo, o do Papel reciclado, das Fibras sintéticas ou inclusivamente dos Plásticos. Neste caso e excluindo estes materiais a percentagem passaria para apenas 2,6%.

2) A partir do conjunto de 33 metais observados, 9 exibem um aumento significativo no consumo, sendo de notar, que a sua soma representa menos de 2% do peso total do grupo. Consequência de alguns deles serem materiais muito leves (como por exemplo o alumínio e o magnésio) ou então são consumidos em muito pequenas quantidades como é o caso dos restantes 7 metais (como o nióbio, o estrôncio, o vanádio, o cobalto (mina), o gálio, o índio, a platina) que no total do grupo representam somente 0,02%.

3) Do total dos 32 materiais analisados no grupo dos Minerais, 7 deles apresentam um crescimento no consumo acima da riqueza gerada, sendo de notar, que a soma de 6 deles (do feldspato, da mica (flocos), do rutilo, das terras-raras, da wollastonita e do zircónio) foi consumida em quantidades muito insignificantes, representando em 2015 somente 0,35% do peso total do grupo.

O material mais importante neste grupo é o cimento, considerando o seu peso específico e sua participação dentro do grupo merece uma análise específica que é apresentada na *secção 1.5.2. Quando 2000-2010 falam (pág. 36)*.

4) Os Plásticos são dos materiais entre os analisados que apresentam o maior crescimento, mas deve considerar-se que existem outras razões para o aumento verificado no seu consumo além de serem um caso muito claro de substituição. Este material maleável, moldável e leve está a ser utilizado extensivamente para substituir materiais mais pesados (como por exemplo, em compósitos para a indústria automóvel e aeroespacial). Possui uma série de excelentes propriedades, como a impermeabilidade à água e a micro-organismos, a

baixa densidade (útil para o transporte de mercadorias), a alta resistência mecânica e o baixo custo devido à escala de fabricação e à otimização dos processos de fabrico (Ojeda, 2013). Mais uma vez, este é um caso positivo dentro do contexto de sustentabilidade.

5) Talvez menos animador é o facto de apenas 14 materiais apresentarem um declínio absoluto no consumo entre 1960 e 2015 como se pode constatar na tabela abaixo, o que não é encorajador sob o ponto de vista de uma tendência para a desmaterialização. A acrescentar o facto de alguns casos serem caracterizados pela substituição (Papel para embalagem e a Lã, por exemplo), e pelo menos 4 casos não são claramente modelos de melhoria tecnológica para superar o *rebound effect* conduzindo à desmaterialização, mas sim o declínio do consumo para o amianto, o berílio, o mercúrio e o tálio ocorre devido a restrições legais sobre a sua utilização, sinónimo de problemas de toxicidade.

Mas se, em vez de olhar apenas para a última coluna observarmos o comportamento de consumo década após década para todo o conjunto de materiais, podemos reparar que o panorama se altera drasticamente. A *tabela 5* resume os resultados para os 114 materiais analisados, e o *gráfico 12* demonstra graficamente o progresso década por década entre os extremos – número de materiais sob o efeito da materialização *versus* desmaterialização.

Tabela 5. Número de materiais individuais dentro dos respetivos limites década por década.

→ Fronteiras	①	②	③	④	Não Disponível (ND)	
Ano	Materialização	Fraca Desmaterialização	Moderada Desmaterialização	Desmaterialização		Soma
1960-1970	43	33	12	10	16	114
1970-1980	33	30	26	15	10	114
1980-1990	33	19	31	25	6	114
1990-2000	23	27	22	36	6	114
2000-2010	43	27	16	27	1	114
2010-2015	25	31	11	44	3	114
1960-2015	26	52	22	14	0	114

A *tabela 5* e o *gráfico 12* (na página seguinte) demonstram o número de materiais individuais que ultrapassam o limite ④ aumentou significativamente entre 1960 e 2015, passando de 10 para 44 materiais, representando um aumento de 440%.

Em sentido contrário, o número de materiais confinados no limite ① passaram de 43 para 25 representando uma redução em cerca de 43%. Deve levar-se em consideração que, apesar do facto do último período ter metade da duração (2010-2015, ou seja, de 5 anos) as comparações são realizadas com as respetivas variações do PIB e da população no respetivo período em questão.

Sem dúvida, o aspeto mais notável observado em ambas as figuras (*tabela 5 e gráfico 12*) é o facto de que algo anómalo parece ter ocorrido no período compreendido entre os anos de 2000-2010, quando não se verifica um aumento significativo na materialização e uma diminuição correspondente na desmaterialização, aparentando no entanto que a situação está agora a regressar para a tendência de desmaterialização verificada anteriormente. Este fenómeno também é muito claro nos *gráficos 2 a 11* apresentados anteriormente (*págs. 19-22*), onde é evidente uma mudança na ascensão repentina das curvas depois do ano de 2000 – esta ocorrência é analisada em detalhe na próxima secção 1.5. *Discussão* (pág.29).

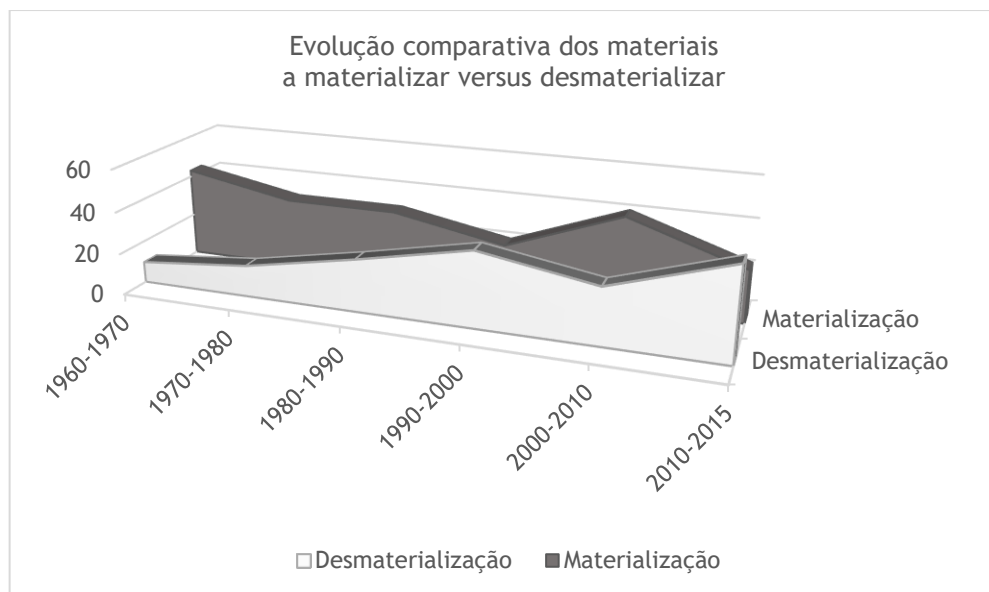


Gráfico 12. Década por década, o progresso entre extremos - número de materiais que se apresentam sob o efeito da materialização versus desmaterialização, respetivamente.

Tabela 6. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo da Celulose e derivados e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Celulose e derivados (t) 16	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Celulose para papel	66%	25%	29%	11%	1%	-2%	193%
Papel de embrulho	ND	ND	ND	ND	12%	6%	19%
Papel de imprensa	50%	18%	29%	20%	-16%	-25%	73%
Papel de impressão e de escrita	70%	55%	69%	42%	11%	-7%	553%
Papel e cartão	69%	35%	41%	36%	21%	4%	449%
Papeis gráficos	60%	41%	51%	35%	4%	-12%	323%
Papel reciclado	100%	64%	67%	70%	48%	7%	1375%
Papel revestido	ND	ND	ND	ND	9%	-13%	-5%
Pasta e outras fibras	48%	24%	111%	-1%	21%	-33%	213%
Polpa mecânica	37%	12%	39%	0%	-17%	-18%	46%
Polpa química de madeira	76%	32%	22%	16%	4%	6%	261%
Polpa semi-química	126%	0%	10%	9%	-4%	4%	173%
Polpa (sulfito, branqueado)	177%	-14%	6%	-26%	-17%	-59%	-37%
Outras polpas	48%	24%	111%	-1%	21%	-33%	213%
Outros papéis de embrulho	ND	ND	ND	ND	-16%	-17%	-31%
Outros papéis e cartões	445%	9%	51%	-27%	18%	-5%	629%

Tabela 7. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo da Madeira e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Madeira 11	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Aglomerado de madeira (m³)	102%	18%	22%	21%	57%	71%	848%
Aparas e partículas	ND	ND	ND	ND	12%	-6%	5%
Fibra prensada para mobiliário	73%	34%	40%	31%	22%	3%	429%
Madeira em pasta (mecânica)	ND	ND	ND	ND	56%	-8%	43%
Madeira em tronco (m³)	12%	11%	13%	-2%	4%	-0,1%	42%
Madeira para combustível (m3)	3%	9%	9%	-1%	4%	-1%	25%
Madeira sem revestimento	ND	ND	ND	ND	-6%	-4%	-9%
Madeira serrada	20%	8%	10%	-17%	7%	-12%	11%
Polpa de Madeira	65%	24%	23%	11%	0%	0%	176%
Toras para folheados (m3)	18%	22%	30%	4%	-7%	19%	116%
Troncos industriais (m3)	21%	0%	14%	-40%	23%	-2%	-1%

Tabela 8. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo das Fibras e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Fibras (t) 4	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Algodão	16%	19%	37%	-1%	29%	-1%	139%
Fibras celulósicas	28%	5%	-12%	-11%	53%	41%	127%
Fibras sintéticas	570%	126%	45%	97%	61%	29%	8 860%
Lã	9%	-0,1%	21%	-30%	-20%	-0,2%	-26%

Tabela 9. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo de Metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Metais (t) 33	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Aço	72%	21%	8%	10%	68%	13%	365%
Alumínio	115%	60%	25%	26%	72%	38%	1 181%
Berílio	-44%	50%	-24%	-20%	-10%	13%	-48%
Bismuto	55%	-3%	-5%	9%	117%	63%	454%
Cádmio	49%	10%	11%	0%	17%	-2%	109%
Chumbo	42%	4%	-4%	-5%	30%	19%	107%
Cobalto (mina)	70%	29%	35%	-7%	180%	15%	787%
Cobalto (refinaria)	ND	42%	-10%	32%	127%	19%	357%
Cobre	50%	22%	28%	43%	22%	19%	385%
Compostos de Magnésio	28%	32%	-9%	21%	70%	28%	306%
Crómio	53%	48%	40%	20%	58%	25%	649%
Estanho	27%	6%	-10%	26%	-4%	9%	59%
Estrôncio	421%	59%	153%	65%	-18%	9%	2 978%
Ferro (Direct Reduced iron)	ND	ND	97%	133%	63%	-7%	597%
Ferro Gusa	66%	19%	3%	8%	82%	12%	348%
Gálio	ND	ND	110%	143%	102%	158%	2 565%
Índio (1970=1972)	ND	-27%	137%	184%	98%	16%	1 024%
Lítio	-16%	27%	76%	25%	136%	26%	593%
Magnésio	137%	44%	12%	19%	81%	27%	946%
Manganês	34%	18%	-6%	-23%	111%	19%	186%
Mercúrio	17%	-30%	-40%	-67%	60%	50%	-61%
Nióbio (1960=1964)	241%	78%	1%	62%	138%	9%	2 493%
Níquel	96%	24%	25%	32%	33%	33%	613%
Ouro	24%	-18%	79%	19%	0%	20%	161%
Platina	232%	61%	37%	25%	30%	0%	1 086%
Potássio	101%	53%	-1%	-2%	26%	20%	348%

Prata	28%	14%	55%	9%	29%	5%	235%
Rénio (1970=1973)	ND	45%	254%	7%	16%	19%	657%
Tálio	ND	ND	15%	0%	-33%	0%	-23%
Tântalo (1960=1969)	-18%	71%	-27%	170%	-14%	27%	202%
Tungstênio	4%	60%	0%	-15%	55%	31%	187%
Vanádio	196%	141%	-8%	23%	75%	9%	1 444%
Zinco	77%	9%	20%	23%	40%	4%	314%

Tabela 10. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Semi-metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Semi-Metais (t) 6	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Antimónio	31%	-4%	-10%	95%	54%	-22%	241%
Arsénio	-5%	-37%	71%	18%	-34%	-12%	-20%
Boro (1960=1964)	-1%	916%	11%	58%	-10%	128%	1 485%
Germânio	86%	37%	-34%	-8%	69%	36%	160%
Silício	45%	68%	50%	-15%	98%	10%	365%
Telúrio (2010=2003)	-6%	-34%	-39%	63%	-14%	0%	-46%

Tabela 11. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Não-Metais e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Não-Metais (t) 4	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Bromo (1960=1961)	128%	40%	49%	23%	-32%	-8%	271%
Enxofre	114%	31%	5%	3%	18%	-1%	252%
Iodo	173%	40%	38%	22%	33%	18%	910%
Selénio	73%	-2%	38%	-18%	54%	-2%	190%

Tabela 12. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Minerais e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Minerais (t) 32	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Abrasivos naturais	2%	163%	-48%	26%	ND	ND	77%
Alumina	21%	61%	28%	21%	66%	38%	592%
Amianto	58%	35%	-15%	-47%	-3%	-1%	-8%
Barita	45%	93%	-23%	12%	7%	5%	173%
Cal*	43%	24%	13%	-11%	156%	13%	415%
Carbonato de sódio	33%	48%	13%	8%	35%	14%	271%
Cianite	111%	75%	14%	1%	-15%	19%	332%
Cimento	81%	54%	18%	59%	98%	23%	1 183%
Cristal de Quartzo	-83%	2 420%	-78%	12%	13%	ND	18%
Escória de Ilmenite e Titânio	120%	58%	41%	16%	15%	-4%	525%
Feldspato	61%	26%	87%	59%	126%	5%	1 346%
Fluorite	107%	20%	2%	-13%	57%	-5%	230%
Fosfato de rocha	128%	55%	10%	-19%	39%	32%	477%
Gipsita	29%	52%	33%	4%	123%	8%	550%
Grafite	-10%	52%	58%	-11%	23%	14%	174%
Ilmenite	72%	32%	9%	21%	52%	5%	378%
Mica (flocos)	28%	44%	-3%	58%	238%	2%	874%
Mica folha	-32%	6%	-22%	-29%	0%	-56%	-82%
Mica Natural	-32%	6%	-22%	-29%	0%	ND	-60%
Minerais de titânio	91%	34%	16%	21%	43%	-6%	386%
Minério de ferro	47%	17%	11%	-1%	97%	19%	344%

Molibdénio	104%	35%	14%	6%	82%	-4%	482%
Óxido de ferro	ND	-11%	2%	102%	44%	-31%	82%
Perlite	ND	20%	3%	23%	10%	106%	186%
Rutilo	301%	5%	5%	-10%	78%	17%	717%
Sal	72%	16%	8%	7%	38%	-0,4%	217%
Sulfato de sódio (1970=1972)	ND	20%	10%	15%	39%	-0,1%	113%
Talco e pirofilita	91%	56%	24%	-7%	-17%	15%	233%
Terras-raras	600%	72%	94%	72%	11%	29%	5 627%
Vermiculita	60%	38%	6%	-9%	-18%	-4%	68%
Wollastonita	99%	54%	140%	94%	-2%	40%	1 857%
Zircónio	209%	70%	25%	-14%	75%	19%	1 078%

Tabela 13. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo das Rochas & Pedras e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Rochas & Pedras (t) 7	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Areia e gravilha Industrial (1980=1985)	ND	ND	-4%	4%	-1%	67%	64%
Bauxite	109%	54%	27%	20%	76%	23%	962%
Diamantes Industriais	39%	11%	1 090%	25%	815%	-1%	20888%
Diatomite	13%	-4%	11%	13%	1%	41%	89%
Granada (industrial)	61%	63%	250%	322%	209%	20%	14222%
Pedra-pomes e púmice	32%	7%	-28%	25%	23%	-0,1%	56%
Pedras preciosas	99%	-21%	402%	28%	4%	-1%	930%

Tabela 14. Variação percentual dos materiais entre décadas no grupo dos Plásticos e entre o ano de 1960 e o de 2015.

Plásticos (t) 1	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2015	1960-2015
Plásticos	366%	90%	81%	50%	66%	18%	4 592%

1.5. Discussão

1.5.1. O que é mais importante de salientar nos resultados?

Como afirmado anteriormente, o objetivo deste trabalho é a análise empírica do consumo de materiais globais, no intuito de responder à pergunta se é possível manter a economia global em crescimento, reduzindo simultaneamente a quantidade de recursos materiais necessários para manter o ritmo de crescimento. Ou inclusivamente para colocar a questão num ponto de vista mais radical: será necessário estimular o decrescimento para obter uma desmaterialização eficaz do sistema socioeconómico? Nem tanto ao mar, nem tanto à terra, mas a questão de facto é que temos alguns resultados encorajadores.

Com a finalidade da análise empírica pretendida, selecionou-se um conjunto de 114 materiais industriais importantes que equivalem a cerca de um terço do total dos materiais utilizados pelos seres humanos. O grande conjunto de resultados apresentados nos gráficos e tabelas da secção anterior não permitem de forma alguma concluir, nem para indicar que se demonstra um efeito de materialização, nem que existe uma acentuada tendência em direção à forte desmaterialização do metabolismo industrial, assim como não permitem a afirmação que teremos num curto espaço de tempo uma redução significativa do nosso atual impacto no meio ambiente.

Com a finalidade de verificar que a referida afirmação acima possui alguns resultados encorajadores, é necessário analisar alguns detalhes nos padrões observados. Um aspeto muito relevante prende-se com o facto de que estamos a presenciar uma determinada dissociação, em certa medida derivada a uma utilização mais eficiente dos recursos naturais. Este fenómeno é ainda mais evidente quando se observa o *gráfico 13* exibindo a Intensidade do Uso do conjunto de 114 matérias-primas o qual diminuiu nos últimos 55 anos (1960-2015) de 0,49 kg para 0,19 kg por cada dólar produzido, isto representa menos 61% de uso dos recursos naturais.

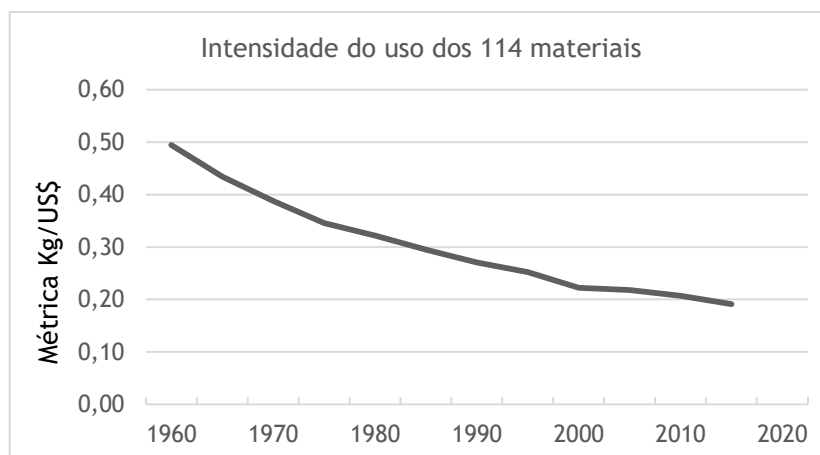


Gráfico 13. Intensidade de uso do conjunto de 114 materiais a nível global no período compreendido entre 1960-2015.

Em relação à melhoria da eficiência no consumo de recursos, vale a pena mencionar, os resultados recentes obtidos por Dahmus (2014). Na sua tese de doutoramento no MIT este autor examina em períodos alargados no tempo a eficácia histórica e melhorias de eficiência na redução do consumo de recursos por dez tecnologias diferentes: a produção de ferro gusa (1805 - 1990), a produção de alumínio (1905 - 2005), a produção de fertilizantes nitrogenados (1925 - 2000), a produção de eletricidade a partir do carvão (1925 - 2009), a geração de eletricidade a partir do petróleo (1925 - 2009), a geração de eletricidade a partir de gás natural (1925 - 2009), o transporte ferroviário de mercadorias (1955 - 2009), o transporte aéreo de passageiros (1955 - 2009), as viagens de veículos a motor (1940 - 2009), e de equipamentos de refrigeração residencial (1960 - 2009). Dahmus afirma que a evolução histórica de reduzir o consumo é o resultado da interação complexa entre a inovação tecnológica, as forças do mercado e as políticas dos respetivos governos.

Os resultados de Dahmus assemelham-se em certa medida, à presente investigação, quando considerado o valor médio durante o grande período de tempo observado, — o autor conclui que nenhuma das tecnologias investigadas apresentou aumentos de eficiência superando a quantidade de bens e serviços fornecidos. No entanto, quando examinadas década por década (como o presente estudo), existem exemplos de períodos de duração de dez anos em que as melhorias de eficiência foram capazes de combinar ou superar os aumentos verificados pela quantidade de materiais necessários. Digno de nota, estes períodos positivos

aconteceram principalmente nos últimos tempos (2000 - 2009 – com exceção das viagens de veículos a motor), o que mais uma vez se assemelha aos presentes resultados quando se observa a penúltima coluna das *tabelas 6.-14. (entre as págs. 26 a 29)* Dahmus conclui afirmando num tom otimista que com os incentivos adequados, inclusive para o contexto da eficiência e mecanismos de preços, o consumo de recursos futuros e os seus impactos ambientais associados, poderiam ser estabilizados e até mesmo reduzidos.

As características mais importantes a serem inferidas a partir do conjunto de resultados apresentados na *secção 1.4. Resultados (pág. 17)* pode ser resumida da seguinte forma (não necessariamente por ordem de importância):

1 - O crescimento mundial (1960 - 2015) no consumo de materiais tem acompanhado a produção mundial *per capita* (cerca de 200%, *tabela 1*) e foi originado principalmente pelo aumento da população no mesmo período, e não pode ser atribuído ao crescimento do PIB, pois, como visto no *gráfico 2*, o consumo *per capita* de materiais mundiais manteve-se praticamente constante entre os anos de 1960 a 2015, quando registou apenas um aumento em cerca de 23,4%;

2 - Olhando para os grupos de materiais individualmente (*tabela 2*), observa-se que os crescimentos mais acentuados ocorreram nos Plásticos (4 592%) e Rochas & pedras (1 164%). Relativamente a estas últimas, vemos na *tabela 13 (pág.29)* que os diamantes industriais são o material que apresenta a maior taxa de crescimento (20 888%) entre todos os investigados. Os diamantes industriais, inventados na década de 1950, têm sido intensamente valorizados pela sua dureza e condutividade térmica (sendo deposto apenas pelo Q-carbono (Brumfield, 2015), e têm encontrado numerosas aplicações no mercado. Designados para uso industrial são utilizados principalmente como ferramenta de corte, moagem ou abrasivos. Após a década de 1980 têm sido utilizados com maior frequência como dissipadores de calor em circuitos eletrónicos integrados, o que provocou o aumento no consumo, todavia são de vital importância nas modernas indústrias de metalurgia e mineração. Também vale a pena referir que o volume da produção (cerca de 900 toneladas em 2015) é insignificante em comparação com o volume total atual verificado neste estudo, bem como o facto de 90% desta produção ter origem na China. Outro dos materiais que apresenta uma grande variação percentual (14 222%) é a granada essencialmente utilizada como material abrasivo e em operações de jateamento. Outros abrasivos naturais ou fabricados podem substituir até certo ponto os principais usos finais de granada. Todavia em muitos casos, utilizar os substitutos implicaria sacrifícios de qualidade ou custo. O corindo³, o diamante e o óxido de alumínio fundido competem pela moagem das lentes e por muitas operações de lapidação (Singerling, 2018c). A bauxita é o elemento mais preponderante no grupo apresentando um aumento de 962 %, que como se sabe é a matéria-prima utilizada para a produção de alumínio, assunto a ser desenvolvido no próximo parágrafo.

³ Corindo ou Corundum é um mineral a base de óxido de alumínio, que representa valor 9 em dureza, na escala de Mohs.

3 - Entre os 9 grupos de materiais investigados, a soma do conjunto de 3 deles, representam 90% da tonelagem total apresentado para 2015 neste estudo, nomeadamente os Minerais (participação de 37,23%), a Madeira (36,84%) e os Metais (14,62%), como demonstrado na *tabela 2*. A madeira, como pode ser observado no *gráfico 4.*, é o grupo que regista a maior queda desde 1960 e aparenta continuar ininterruptamente esta tendência. Os Minerais serão objeto de análise mais pormenorizada no *item 5, Minerais (pág.33, trigésima linha)*. Os Metais são o grupo formado por maior número de elementos estudados (33 materiais individuais), sendo de notar que cerca de 7 metais apresentam variações percentuais entre os 1,000% e os 3.000%, ou seja, o índio (1 024%), o nióbio (2 493%), a platina (1 086%), o estrôncio (2 978%), o vanádio (1 444%), o gálio (2 565%) e o alumínio (1 181%). Mas o aspeto mais importante a ser apontado para este pequeno conjunto de materiais com as maiores variações percentuais é o facto de que as suas variações caíram para um ou dois dígitos no período 2000 - 2015, ou mesmo "desmaterializando" (como, por exemplo, a platina, com -0,2%). Este declínio pode ter várias razões, de transferência de tecnologias para a substituição e/ou mudança de materiais. Como exemplo do primeiro caso pode-se citar o caso do estrôncio (a maior variação percentual entre 1960 e 2013 entre os Metais). Na década de 1970, no pico da produção e da sua utilização em tubos de raios catódicos de televisão (CRT - Cathode Ray Tube) até 75%, este material foi direcionado para o fabrico de vidro do ecrã, mas com a substituição dos CRT nos televisores o seu consumo tem diminuído dramaticamente. Quanto ao último metal analisado é de mencionar o facto de que o alumínio está a substituir o aço em muitas aplicações, por exemplo, no setor automóvel e indústrias aeroespaciais, o que acarreta uma redução do uso de vários elementos de ligas, como o nióbio e o vanádio, entre outros. O alumínio é um exemplo típico de uma substituição bem-sucedida, para além de ser um material leve, pode ser facilmente reciclada e a um custo de cerca de um décimo do custo do alumínio primário. Apesar de a sua aplicação ser quase omnipresente na engenharia moderna originando um aumentando do consumo, a produção de alumínio em 2015 representava apenas 0,28% da tonelagem total do conjunto de 114 materiais, enquanto o aço ainda assim se apresenta com uma quota de 7,8%.

4 - Quanto a possíveis tendências para a desmaterialização, vale a pena examinar pormenorizadamente o que sucede no grupo da Celulose e derivados. No *gráfico 3* evidencia-se o facto de que o consumo mundial *per capita* desse grupo aumentar no período entre 1960 - 1995, tendo estabilizado e até mesmo diminuído no período entre 1995 - 2015 em cerca de 7%. Observando a *tabela 6* podemos distinguir claramente a predominância de cores mais carregadas nas primeiras quatro décadas, a mudança para tons mais claros nas duas últimas colunas, refletindo uma transição clara de fronteiras ❸ - moderada a forte desmaterialização. Nesta análise assim como noutros casos já apontados anteriormente verifica-se uma tendência positiva, o material que apresenta a maior variação percentual neste grupo é o papel reciclado (1 375%), que não pode ser classificado propriamente como um caso de materialização (com respetivos benefícios inerentes). A segunda maior variação é registada pelos Outros papéis e cartões com um crescimento de 629%, assim como pelo Papel de impressão e de escrita (553%) e em quarto lugar para o Papel e cartão (449%) muito utilizado em embalagens, o que

representa uma quota de cerca de 30% deste grupo em 2015, não obstante o seu consumo também se encontra em declínio. Entre as tendências que contribuíram maciçamente para a redução do consumo de papel, podemos citar dois casos importantes de substituição tecnológica: em primeiro lugar o desaparecimento do mercado de papel fotográfico por causa da mudança na apresentação e armazenamento de imagens em formato digital, e em segundo lugar o facto de que a publicação *online* de jornais e revistas são gradualmente substituídos pelos e-books e outros dispositivos que estão a proliferar rapidamente em todo o mundo. Diversas livrarias estão a sofrer dos mesmos constrangimentos sendo inclusivamente encerradas. Muitos títulos de jornais deixaram de publicar edições em papel (ou pela redução significativa na circulação de edições impressas), resultando numa diminuição do consumo global deste grupo em cerca de 37% entre o ano de 2000 e o de 2015. Além disso, uma infinidade de *blogs* e fóruns de discussão, surgiram em toda parte e estão a funcionar como fontes de informação aplicadas à vida do quotidiano. Novas instalações e locais apropriados surgem para fazer face a este crescente acesso à informação através de telefones móveis, *tablets*, *notebooks*, entre outros. Um exemplo emblemático é o caso recente da Enciclopédia Britânica que após 244 anos foi retirada de circulação em formato papel. Antes do amanhecer do novo século alguns autores (Ausubel *et al.* 1990; Wernick *et al.*, 1996) apontaram que o consumo total de papel de impressão aumentou apesar das alegações de que a revolução da informação eletrónica criaria um "escritório sem papel". Na verdade e independentemente desta revolução transferida para a capacidade de armazenamento informático, o papel permaneceu como um veículo significativo no transporte de informações. Inclusivamente importante para novas tecnologias de armazenamento de informações que aparentam complementar a gama e aumentar a quantidade de informações armazenadas, em vez de uma redução absoluta e generalizada no uso de papel. No entanto, os números relativos ao consumo de papel de escrita e papel de jornal, assim como a observação qualitativa dos acontecimentos recentes, sugerem que uma mudança positiva se encontra em andamento.

5 - O segundo grupo investigado composto por um maior número de materiais é o dos Minerais constituídos por 32 materiais, que também carece de uma observação mais pormenorizada. Neste grupo temos as terras raras com a maior variação percentual de 5 627% (não propriamente raros na superfície terrestre, mas em substituição ao termo raro aqui significa "difícil" com um processo dispendioso de refinação), que representa um subconjunto de materiais constituídos por 15 lantanídeos mais o escândio e o ítrio. Esta família de materiais tem encontrado um grande espectro de aplicações numa miríade de novas e avançadas tecnologias. A questão importante reside no facto de ser utilizado numa ampla gama de aplicações tecnológicas mas a sua tonelagem é insignificante (cerca de $1,30 \times 10^5$ toneladas) em comparação com o total movimentado no presente trabalho. Os materiais que se seguem com maiores índices de crescimento que constituem este grupo são: o cimento (1 183%), o feldspato (1 346%) e a wollastonita (1 857%). O cimento é um caso especial que será analisado em detalhes na *seção 1.5.2 Quando 2000 e 2010 falam (pág.36)*, pois é um material de construção por excelência, representando a maior quota de tonelagem (20%) entre os 114

materiais estudados (52,9 % entre os minerais), e apresenta a mais alta taxa de variação (23,4%) no grupo durante o período recente (2010 - 2015). A wollastonita é um mineral com várias aplicações na indústria cerâmica (cerca de 40% do mercado), em polímeros (35%, plásticos e borracha), na pintura (15%) e metalurgia básica (< 10%), mas também a sua tonelagem não é relevante (cerca de 7×10^5 toneladas em 2015) neste contexto. O feldspato é um mineral com uma ampla gama de aplicações na indústria do vidro e da cerâmica. Numa escala inferior é também utilizado como material de enchimento para a pintura e na indústria dos polímeros, mas como pode ser visto na *tabela 12 (pág.28)* é um material que apresenta inclusivamente uma moderada desmaterialização (5 %) entre os anos de 2010 e o de 2015. Os restantes materiais nestas condições são o zircónio (1 078%), o rutilo (717%) e mica flocos (874%).

6 - Como se pode verificar no *gráfico 11* e na *tabela 2*, grupo dos plásticos, entre os analisados é o que evidencia a taxa mais elevada e mais íngreme de crescimento nos últimos 55 anos. Smil (2014) observa que os "plásticos têm sido amplamente definidos como o material por excelência do século XX, com uma difusão particularmente rápida após a 2ª Guerra Mundial". Substitui a madeira, os metais e o vidro em diversas aplicações domésticas, assim como em produtos de transporte. Dos setores industriais que evidenciam maiores índices de consumo destacam-se os da embalagem com 46%, seguido pelos produtos domésticos com 31% e pelo setor dos transportes com 23% (Lulea University, 2018). Pode-se acrescentar que os plásticos, talvez melhor dizendo os polímeros, tem uma assiduidade omnipresente na vida quotidiana, estando presente ao nosso redor, nas casas, nas roupas, nos telefones móveis, nos computadores, nas embalagens, nos veículos e inclusivamente em aviões. Não esquecendo que agora também estão omnipresentes como componentes importantes em ecrãs de LCD e sensíveis ao toque, compostos por uma crescente e variada quantidade de polímeros. A sua produção aumentou seis vezes na década entre 1950-1960, e 50 vezes nos últimos 55 anos, e parecem manter essa inabalável tendência de crescimento. Os plásticos podem ser divididos em dois grandes grupos: os termoplásticos (que podem ser amolecidos com aquecimento moderado, sendo fáceis de processar e a grande maioria deles podem ser reciclados) e os termofixos ou termorrígidos (que não podem ser amolecidos com aquecimento moderado e que são difíceis de reciclar). Atualmente os termoplásticos representam mais de 80% da produção global, divididos em vários subprodutos, dos quais nos mais importantes a destacar estão: o polietileno (PE, cerca de 30% da produção associada de plástico a nível mundial) geralmente utilizado em diversos tipos de frascos, em embalagens flexíveis e brinquedos; o polipropileno (PP, 20%) para embalagens diversas, para-choques dos veículos, cadeiras, entre outros e o cloreto de polivinilo (PVC, 12%) em janelas, portas e tubos. Atualmente estes três polímeros dominantes representam três quintos da produção mundial de plásticos. A produção global de termofixos é dominada por dois materiais importantes: poliuretanos (frequentemente utilizados em isolamento térmico, entre várias outras aplicações) e resinas epóxi (um material fundamental para a produção de compósitos de alta resistência).

Existe hoje uma discussão acalorada relativamente às vantagens e desvantagens na utilização de plásticos, fortemente dependente da perceção dos consumidores, produtores ou ambientalistas. A última voz sobre pelo menos três ameaças ambientais importantes reside no facto de que a sua síntese precisa da utilização de combustíveis fósseis (gás, principalmente natural), bem como a aplicação de produtos químicos perigosos (no caso do PVC) e sua eliminação em terra ou nos oceanos após o uso é um problema muito crítico e ainda sem solução. Por último, mas não menos importante os plásticos têm uma duração limitada em termos de integridade funcional, geralmente variando de 3 a 10 anos (o PVC pode permanecer por um período mais dilatado, cerca de 2 ou 3 décadas), um aspeto negativo sobre o aumento do consumo, pois sendo de curta duração promove a produção de mais bens para substituição (Berger, 2009). Mas muitos avanços têm sido feitos sobre métodos de síntese alternativa como o designado plásticos verde, (Stevens, 2002), biodegradabilidade e reciclagem (Goodship, 2007; Ibidem, 2010), o que certamente vai ajudar a mitigar a maioria dessas ameaças ambientais. Apesar da sua grande gama de aplicações os plásticos representam uma quota de apenas 1,51% (correspondente a um consumo *per capita* mundial de cerca de 42,4 kg) da tonelagem total analisado neste trabalho, e este fato consiste num aspeto muito positivo em relação ao seu consumo: o facto de ser um material muito leve, que substituiu um amplo espectro de materiais mais pesados. Além do mais, o seu uso intensivo induz um efeito de redução em cascata em relação aos custos de transporte, consumo de combustível e instalações de manuseamento. Segundo um estudo realizado pela Trucost (Lord *et al.* 2016), este estabelece que o custo ambiental resultante da utilização de plásticos em bens de consumo é de cerca de quatro vezes menor do que se fossem substituídos por materiais alternativos. A investigação baseia-se em métodos de quantificação que medem e valorizam os impactos ambientais - como o consumo de água assim como as emissões para a atmosfera, para a terra e para o meio aquífero. Relatórios anteriores da UNEP (United Nations Environment Programme) como o “Valuing Plastics”, (Raynaud, 2014) e “The New Plastics Economy” (Ellen MacArthur Foundation, 2016) do World Economic Forum, sob o lema de repensar o futuro dos plásticos também examinaram os custos decorrentes da sua utilização.

Os surpreendentes resultados obtidos interromperam uma visão errônea comum, concluindo que a substituição de plásticos (polímeros) em produtos de consumo por um conjunto de materiais alternativos (como o aço, o alumínio, o vidro, o papel e cartão, as fibras, madeira, peles, borrachas, entre outros), que proporcionam a mesma função, aumentariam os custos ambientais anuais de cerca de 139 mil US \$ para os 533 mil milhões US \$. Muito se deve às suas características técnicas conjugando a resistência com leveza, proporcionam “fazer mais com menos” material que se traduz num benefício ambiental substancial ao longo do ciclo de vida dos produtos. Embora os custos dos materiais alternativos por tonelada de produção (2 057\$/t) sejam muito similares comparativamente aos dos plásticos (2 107\$/t) mas no cômputo geral são maiores, já que necessitam de quantidades muito superiores, cerca de 400%, para cumprir os mesmos fins que os plásticos. Boas notícias amplificadas caso se agregarmos um conjunto de medidas para auxiliar na redução dos custos globais ambientais deste material,

como o do aumento da utilização de energia elétrica com menor teor de carbono na sua produção, desenvolvendo embalagens ainda mais eficientes e aumentando a reciclagem no intuito de preservar os recursos naturais.

São diversos os casos observados um pouco por todo o planeta de uma designada economia circular, no entanto pela dimensão e situação geográfica (país em vias de desenvolvimento) reveste-se de particular relevância o caso que ocorre atualmente na Índia que já pavimentou cerca de 34 mil quilómetros de estradas utilizando plásticos reciclados (WEF, 2018a). Agora prepara-se para prosseguir com mais de 83 mil quilómetros (duas voltas à terra), um projeto inserido num programa de construção de vias de transporte terrestre anunciado pelo governo local para os próximos cinco anos (Gulf News, 2018). Neste contexto confirma-se que os países não seguem necessariamente o mesmo padrão de desenvolvimento verificado nos países mais desenvolvidos economicamente.

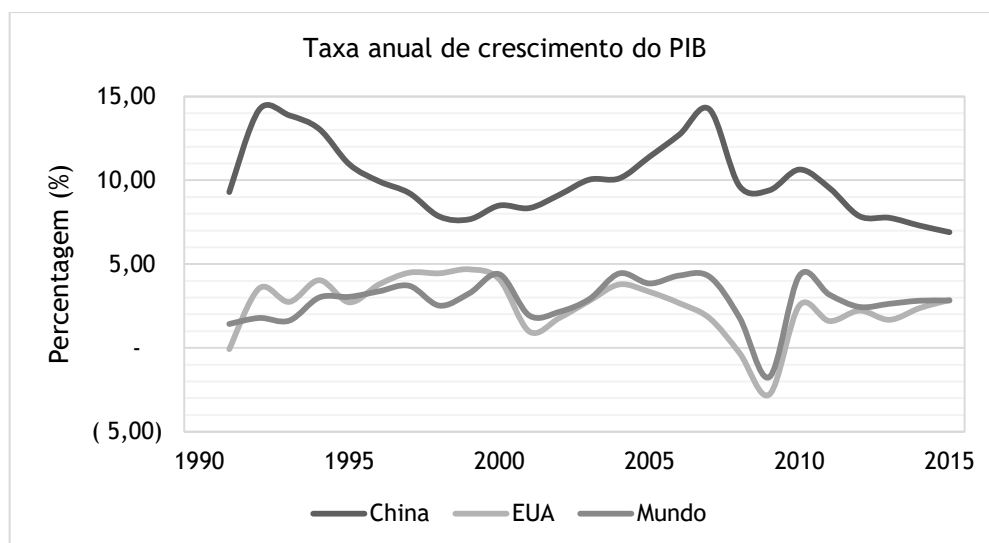
1.5.2. Quando 2000 - 2010 falam

Como observado um dos aspetos mais marcante dos resultados diz respeito ao aumento repentino no consumo no início do novo século, contra a tendência ligeiramente decrescente nas décadas anteriores. Este aumento parece inverter novamente nos últimos anos, um facto claramente traduzido no comportamento observado nas curvas do *gráfico 12 (pág. 26)*. Pode ser exagerado para cunhar este aumento repentino como um "pico", mas de qualquer maneira o que se observa no período de 2000-2010 é a ação de uma nova força motriz que tem impulsionado acentuadamente o consumo de materiais a nível global.

Pode verificar-se que a nova força motriz foi a modernização da China, um processo que começou lentamente na década de 1980, mas acelerou enormemente na década de 1990, com especial ênfase em 1992 onde o crescimento anual do PIB da China atingiu a incrível marca de 14,3%. Após um ligeiro declínio na segunda metade da década de 1990, a produção da China continuou a assistir a um crescimento inabalável na primeira década do século XXI mantendo a marca de dois dígitos durante a maior parte deste período. Em 2010, a China tornou-se a segunda maior economia do mundo, mais que duplicando a registada no Japão. O gráfico seguinte mostra comparativamente a taxa de crescimento anual para a China, para os EUA e para o Mundo. É de notar que, mesmo durante a instalada crise económica mundial, o crescimento económico entre 2008-2009 da China foi mantido a taxas acima de 9%.

Entre o ano de 1980 e o de 2010, a China passou por quatro duplicações sucessivas da sua economia e isso evidentemente, implicou um aumento idêntico de todos os fluxos de materiais e consequentemente a necessidade de recorrer a maciças importações. Este crescimento sem precedentes envolveu igualmente a criação de uma imensa rede de infraestruturas tendo provocado uma enorme expansão da construção civil - sem dúvida a maior expansão do mundo registada no setor da habitação, em edifícios comerciais, nas indústrias, nas estradas, nas pontes, em escolas, entre outros, que acarretava consigo uma enorme procura por materiais de construção.

A China tornou-se não só na maior economia do terceiro mundo, mas também num dos principais fabricantes e importadores de matérias-primas a nível global.



Fonte: Banco Mundial, 2016

Gráfico 14. Taxa de crescimento percentual anual do PIB a preços de mercado com base na moeda local constante

Este enorme crescimento afetou a economia mundial e reduziu qualquer tendência de desmaterialização que poderia estar a ocorrer na segunda metade do século XX. Conforme mencionado na *seção 1.3. Métodos e dados (pág.15)* foi selecionado o caso do cimento para demonstrar esse impacto, comparando a procura deste material por parte da China, dos EUA e do mundo, o qual contribui com uma quota de quase 20% do conjunto dos 114 materiais selecionados nesta investigação. O cimento é por excelência um material de construção, necessário para fazer betão, e por esse motivo tem uma única aplicação, ao invés de outros materiais analisados, cujas aplicações industriais são dispersas por um elevado número de produtos. Este facto faz com que a sua análise relativamente ao consumo/produção a nível de uma nação ou região seja simplificado, sendo muito mais simples para a recolha de dados sobre as importações e exportações, do que no caso, por exemplo, dos plásticos que se torna bastante mais complexo em consequência de serem utilizados numa infinidade de produtos.

Smil (2014) cita uma comparação bastante interessante que ilustra a escalada de "betonização" da China: "O consumo de cimento nos EUA totalizou cerca de 4,56 Gt durante todo o século XX - enquanto a China utilizou mais cimento (4,9 Gt) em novas construções em apenas três anos (entre 2008 e 2010), e no período compreendido entre 2009 e 2011 utilizou ainda mais, 5,5 Gt ". O gráfico 15, na página seguinte mostra a comparação entre a produção de cimento a nível global com e sem a China entre o ano de 1990 e o de 2015. A produção chinesa em 2015 corresponde a cerca de 57% da mundial; sendo evidente que a sua influência tem contribuído significativamente para o total global. A subtração da produção deste país aos índices verificados a nível mundial traduz-se num crescimento praticamente linear com uma taxa de crescimento de cerca de 40 Mt por ano.

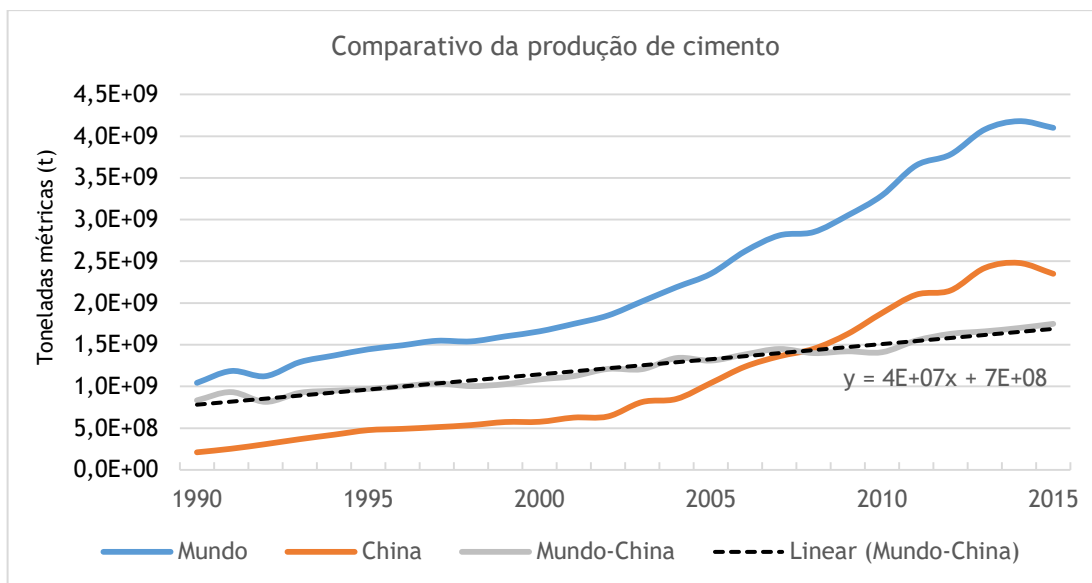


Gráfico 15. Comparativo na produção de cimento - do total mundial, do total na China e do mundial sem a China.

O gráfico 16 proporciona uma comparação entre a produção total de cimento da China e do próprio consumo entre 1990 e 2015, obtidos através da subtração das exportações à produção total do país; podendo constatar-se que a diferença é residual, ou seja, praticamente toda a produção foi consumida na construção e infraestruturas a nível interno.

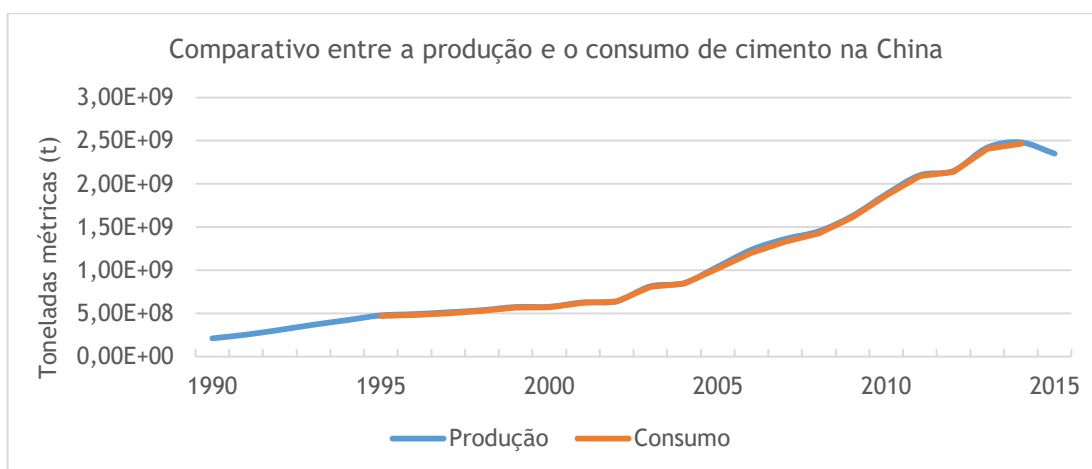


Gráfico 16. Diferença residual entre produção e consumo de cimento na China.

O gráfico 17 exemplifica graficamente o consumo *per capita* de cimento nos EUA, na China e no mundo (sem a China e sem os EUA) no período compreendido entre 1990 e 2015. Para a determinação do consumo *per capita* nos EUA foi considerado o consumo líquido, ou seja, a diferença entre a produção total, tendo em consideração as importações e as exportações. Como pode ser observado o consumo *per capita* na China quintuplicou entre o ano de 1994 e o de 2015, enquanto o consumo nos EUA e no mundo não mudou muito significativamente, sendo de salientar que o consumo nos EUA inclusivamente registou uma

ligeira diminuição. Em 2015, cada chinês consumia em média cerca de 1,8 kg de cimento, enquanto cada americano se restringia a 0,29 kg, ou seja, praticamente 6,2 vezes mais!

Naturalmente, um crescimento tão pronunciado advém de um *boom* na construção que impulsionou o consumo e as importações e num aumento da procura de outros materiais utilizados na construção, como a cal, o aço, o ferro, o alumínio, entre outros, assim como os minerais e rochas correspondentes e necessários para a sua produção. Para estas e outras matérias-primas obtêm-se resultados muito similares, ou seja, um acentuado aumento do consumo registado na China na primeira década deste século.

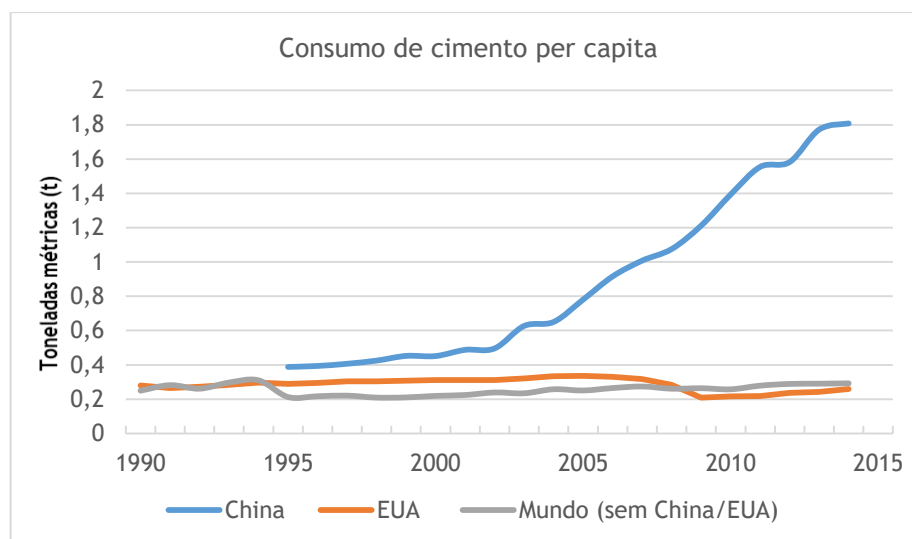


Gráfico 17. Consumo de cimento per capita nos EUA, na China e no resto do mundo (sem a China e os EUA).

Concluindo, a modernização da China provocou um desequilíbrio muito significativo no contexto global da materialização *versus* desmaterialização. Os resultados demonstram que este país utiliza uma maior quantidade de materiais *per capita*, em virtude dos seus cidadãos usufruírem de maiores rendimentos o que aumenta o seu poder de compra e lhes permite adquirir melhores habitações elevando assim os seus padrões de vida. Não obstante, este padrão não é eterno já que diminuirá à medida que as necessidades existentes sejam satisfeitas ou colmatadas. O último segmento do *gráfico 17* (2014-2015) sugere precisamente que esse efeito possa estar a ocorrer atualmente. No entanto, a extensão em que serão substituídos por outras economias em rápido crescimento (como o exemplo da Índia, entre outros) que emergem em direção a padrões de vida mais elevados é uma incógnita, mas fundamental para os resultados futuros na desmaterialização.

Nota conclusiva

O objetivo deste capítulo foi o de realizar um levantamento da produção e do consumo mundial de um conjunto de 114 materiais mais utilizados em aplicações atuais de engenharia no intuito de identificar padrões de materialização e/ou desmaterialização durante o último meio século.

Os resultados obtidos não permitem afirmar perentoriamente que a sociedade está sob efeito da “desmaterialização”, no entanto, ao longo do trabalho ressaltaram algumas tendências positivas que nos permitem obter algum grau de otimismo respeitante a uma redução do metabolismo global futuro, assim como uma diminuição do seu impacto no meio ambiente. Por outras palavras, os padrões identificados apontam para que a capacidade tecnológica crescente contribua para um aumento da eficiência na utilização de matérias-primas. O *gráfico 12* e a *tabela 5* traduzem claramente esta visão de esperança num cenário futuro que embora não demonstre uma desmaterialização absoluta, pelo menos, evidencia um comportamento estabilizado e sustentável, permitindo que o crescimento económico se dissocie do consumo de matérias-primas. A obtenção de tais intentos pode diminuir gradualmente ao longo do tempo os índices de procura aumentando simultaneamente a capacidade tecnológica. A evidência da importância da China na produção/consumo de cimento pode perfeitamente constituir o tipo de mecanismo para a obtenção de uma redução a longo prazo no espectro da procura.

Alguns investigadores podem argumentar que o resultado apresentado no *gráfico 12* (relativamente aos 44 materiais que evidenciam um efeito de desmaterialização) é derivado fundamentalmente a uma visão de crise económica global ou recessão verificada nos últimos anos. No entanto relativamente a este ponto, é importante salientar que muitos economistas sugerem que não estamos a enfrentar nem uma recessão global, nem qualquer tipo de crise económica, mas ao invés que a economia global não vai voltar a atingir os índices de crescimento registados em alguns períodos dos últimos sessenta anos. Uma diversificada literatura (Gordon, 2016; Heinberg, 2012; Rubin, 2012, Galbraith, 2014) incluindo relatórios técnicos, surgiu nos últimos anos (Summers, 2008; Lang *et al.*, 2016; Buchanan, 2016) sugerindo que o crescimento económico não se verifica nos moldes anteriormente estabelecidos, ou seja, que a riqueza gerada não depende tão pronunciadamente do consumo de materiais. Esta análise demonstrou que do conjunto de 114 materiais analisados, os seres humanos necessitavam de consumir 494g para produzir um dólar em 1960, e atualmente podem produzir o mesmo dólar com apenas 191g.

Capítulo II

O “esforço” exigido pelos materiais na economia (PIB) entre 1960 e 2015

Introdução

Os recursos naturais progressivamente mais acessíveis sustentaram em grande medida o crescimento económico global registado no século passado. O início do novo milénio pautado pelo rápido desenvolvimento económico verificado nos mercados emergentes provocou oscilações significativas quer do consumo de materiais assim como dos custos associados. Mais recentemente uma diminuição do valor das matérias-primas indica um aparente sintoma do reequilíbrio no mercado entre a oferta e a procura.

O esforço exigido na utilização de materiais para satisfazer uma determinada necessidade decorre neste contexto da conjugação de dois fatores indissociáveis, ou seja resulta quer da evolução verificada no consumo, quer dos respetivos custos inerentes face ao rendimento disponível das populações. No entanto, estes fatores podem repercutir-se na sociedade e na economia, funcionando como elemento impulsionador ou retardatário de um determinado desenvolvimento tecnológico.

O desacoplamento ou dissociação no uso de matérias-primas face ao crescimento económico (PIB) pode inclusivamente resultar da evolução do esforço exigido na economia a nível mundial. Ao invés de evidenciar os materiais que se apresentam sob o efeito da desmaterialização é importante dar especial ênfase ao comportamento dos materiais que se revelam sob o efeito de materialização avaliando simultaneamente o seu impacto no esforço médio exigido *per capita* face à riqueza gerada.

2.1. O esforço exigido pelos materiais na economia para satisfazer uma determinada necessidade

A desmaterialização é a redução da quantidade de materiais necessários para produzir algo útil ao longo do tempo. Este conceito deriva fundamentalmente de contínuos melhoramentos técnicos, mas pode ser contrabalançado pelo efeito *boomerang*, também conhecido por “*rebound effect*” ou “*Jevons paradox*” (Devezas *et al.* 2017) já anteriormente mencionado no primeiro capítulo, consequência entre outros motivos das oscilações do seu consumo quer do resultado no aumento ou na diminuição dos custos associados. Todavia, esta premissa pode variar em função de um determinado rendimento disponível (PIB), repercutindo-se como um fator indissociável no desenvolvimento tecnológico pretendido.

Malenbaum (1978) facultou uma perspetiva para quantificar o consumo global de alguns materiais, utilizando a Intensidade do Uso, que resulta da quantidade de materiais (ou energia) utilizados dividido pela riqueza gerada (PIB). Segundo o autor, as projeções apontam para um padrão de curvas em forma de U (invertidas) na Intensidade do Uso para algumas matérias-primas face ao constante progresso tecnológico, que se traduz num aumento da produtividade e no desenvolvimento das economias.

Esta metodologia permitiu uma nova abordagem preconizada por Bernardini e Galli (1993) lançando as bases para o desenvolvimento da teoria da desmaterialização, implicando uma tendência na diminuição das taxas de crescimento no consumo de materiais e energia, e simultaneamente dos índices de crescimento económico a nível mundial.

Posteriormente Ausubel e Waggoner (2008) numa perspetiva tendencialmente ambiental abordaram o fenómeno da desmaterialização relacionando quantitativamente a massa do consumo com a diminuição da sua fração no PIB. A utilização de materiais mais leves assim como o ciclo de vida dos produtos podem interferir profundamente neste intrincado e complexo sistema.

No entanto uma questão ressalta: Qual o esforço ou “peso” exigido pelas opções tomadas no consumo do dia-a-dia para satisfazer uma necessidade e o seu impacto quer económico, social, tecnológico e ambiental para atingir o desenvolvimento pretendido? Por sua vez sobre o consumo de materiais, Gutowski *et al.* (2017) questionam: onde é que o esforço se pode concentrar? Por outras palavras, como é que diferentes fatores se equilibram para alcançar um ótimo resultado.

Referenciando um material, por exemplo o mercúrio, embora este elemento sofra constrangimentos ao seu consumo por restrições ambientais e de perigosidade reforçado na mais recente Diretiva RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances),⁴ são insuficientes para diminuir o seu consumo sendo em certos casos imprescindível e aparentemente insubstituível (ver capítulo seguinte). Este elemento mais que duplicou (2,4 x) a sua utilização desde o ano de 2000, passando das 1 360 t para as 3 270 t em 2015 e o seu valor por um fator

⁴ Diretiva RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances) da Comissão Europeia responsável pela regulação de substâncias perigosas específicas com concentrações limitadas em partes por milhão (ppm).

de (12 x) ou seja de 4 500 US\$ para 53 700 US\$, respetivamente. Além do mais uma tonelada de chumbo não tem o mesmo impacto e repercussões do que uma tonelada de papel reciclado, carecendo para tal de uma nova abordagem que não se restrinja somente a uma relação estreita entre a quantidade bruta de material consumido e o PIB.

Neste contexto pretende-se desenvolver uma abordagem que quantifica o esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade para uma melhor compreensão do tema, examinando empiricamente a evolução das tendências quer do consumo dos materiais assim como dos seus custos associados a nível global e *per capita*. O esforço geralmente definido como uma ação enérgica, uma tentativa, um empenho, um impulso ou uma ação que pretende uma mudança de estado que resulta numa variação comparativa ao anteriormente estabelecido.

Esta perspetiva não pretende determinar se um material ou um conjunto de materiais sofre o efeito de materialização ou desmaterialização, mas resulta sim numa tentativa de esclarecer e proporcionar um melhor entendimento da variação dos custos e respetivas consequências no consumo global, por outras palavras, se a economia se encontra a desacoplar ou a dissociar dos recursos naturais. Sobressaindo daí uma questão: qual o esforço despendido na utilização de materiais (recursos naturais) para satisfazer uma determinada necessidade?

Para tal são utilizadas as seguintes abreviaturas e respetivas designações:

M_t - Materiais em toneladas métricas. Expressa a quantidade de matérias-primas consumidas a nível global num determinado período.

$V_\$$ - Valor da tonelada métrica do material a preços de mercado (US\$). Demonstra a oscilação dos preços verificados de um, ou de um conjunto de recursos naturais.

P - População. Retrata o número de pessoas existentes a nível global.

G - PIB (Produto Interno Bruto). Representa a soma da riqueza gerada na economia.

Resultando noutros indicadores:

— (MGCV) *Material Global Consumption Value* - Valor do Consumo Global de Materiais. Decorre do consumo mundial de matérias-primas (M_t) multiplicado pelo valor de mercado da tonelada métrica ($V_\$$) individualmente e/ou por grupo de materiais ($M_t \times V_\$$).

— (MICV) *Material Individual Consumption Value* - Valor do Consumo Individual (*per capita*) de Materiais. Representa o MGCV a dividir pela população (P) mundial, sob a equação:

$$\frac{M_t \times V_\$}{P}.$$

— (GEME) *Global Effort of Materials in Economics* - Esforço Global dos Materiais na Economia. Expressa o esforço exigido pelo MGCV face ao PIB (G) gerado pela economia global, através da equação: $\frac{M_t \times V_\$}{G}$.

— (IEME) *Individual Effort of Materials in Economics* - Esforço Individual (*per capita*) dos Materiais na Economia. Reflete o esforço médio exigido GEME *per capita* (P) a nível mundial, resultado da equação: $\frac{(M_t \times V_\$) / G}{P}$.

O impacto dos materiais na economia e no meio ambiente dependem em certa medida do desacoplamento do consumo/produção de materiais e da riqueza gerada (UNEP, 2011). Fatores indissociáveis permitem no entanto determinar o esforço exigido e a sua influência no grau de importância relativa dos elementos determinando se é impulsionada com maior pendor pelo consumo (M_t), ou pelos custos associados (V_s).

Pretende-se também analisar separadamente os materiais que se apresentaram sob o efeito de materialização do capítulo anterior cruzando-os com os dados obtidos do esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade na economia através dos indicadores GEME e IEME. Outro dos objetivos principais nesta abordagem comparativa reside na verificação de entre os materiais a materializar quais os que se encontram a desacoplar, ou seja, os que evidenciam uma redução do esforço exigido face à riqueza gerada.

Esta análise permite observar os materiais que exigiram maior esforço por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME no período em questão, pois tanto pode ser provocada pela variação do consumo (M_t), quer pela sua interceção com o valor da tonelada métrica (V_s), assim como pelo aumento da população ou ainda da economia (PIB).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) a volatilidade dos preços ou as interrupções de fornecimento podem influenciar o consumo de recursos e o atual modelo de desenvolvimento (UNEP, 2011). O desacoplamento (*decoupling*) manifesta-se portanto como uma dissociação entre a economia e o consumo de materiais provocada pelo aumento da produtividade e da eficiência (Magee e Devezas, 2017) dos recursos naturais, com os respetivos benefícios inerentes quer económicos quer ambientais. A intervenção no mercado dos preços segundo alguns especialistas torna-se imprescindível (Weizsäcker, 2017), recomendando uma tributação ou redução de subsídios no intuito de aumentar o valor das matérias-primas face a um determinado ganho de produtividade. Os recursos podem gerar múltiplas vantagens incluindo a redução dos custos económicos para as empresas além do setor público, assim como na criação de novos empregos (Smith *et al.*, 2010).

As oscilações registadas entre a oferta e a procura de recursos naturais provocam aparentemente um desequilíbrio no mercado com os respetivos efeitos ambientais e no bem-estar das populações. A desaceleração das economias pode traduzir-se numa redução da pressão exercida na procura de alguns recursos e respetiva consequência nos custos, no entanto esta tendência não é imutável e pode ser interrompida. Segundo a McKinsey Global Institute (Dobbs *et al.*, 2011) entre o ano de 2000 e o de 2011 o preço dos metais subiu cerca de 176%, o das borrachas em 350% e o da energia em 260%. Esta perspetiva foi confirmada na União Europeia por um estudo oficial do Euro Barómetro 2011, concluindo que 75% das empresas europeias manifestaram sérias preocupações com o aumento no custo dos materiais.

A volatilidade e o aumento dos preços foram abordados por Suh, (2008). Segundo o autor alguns materiais-chave muito utilizados na indústria demonstram “dramáticas” oscilações entre o ano de 2007 e o de 2008. Certos metais correm o risco de se tornarem muito dispendiosos supostamente sob o pretexto de que as concentrações acessíveis de minério

continuam a diminuir. É o caso de determinados metais englobados nas terras raras (REE - Rare Earth Elements), onde as previsões mais pessimistas apontam para a possibilidade de estes recursos se esgotarem em menos de duas décadas, caso as taxas de reciclagem não aumentem rapidamente (Tse, 2011). Os problemas de abastecimento ocorridos na China não são imunes a estes acontecimentos e desencadearam um incremento muito acentuado do valor da tonelada métrica destes elementos passando dos 6 595 US\$ (t) em 2005 para 20 000 US\$ (t) em 2010, mais que triplicando o seu valor em apenas cinco anos. No entanto, o restabelecimento posterior da extração provocou uma diminuição substancial e um reequilíbrio dos custos até 2015.

Diversos são os argumentos e os perigos inerentes a um aumento do custo das matérias-primas e aparentemente o contrário também ocorre, ou seja, a sua diminuição. Em 2015, um artigo do Financial Times intitulado “Porque motivo o preço das matérias-primas caíram tanto?” (Sanderson *et al.*, 2015), reflete uma questão bem elucidativa, dando eco a uma crescente preocupação sentida no mercado. Segundo os autores os preços atingiram o seu pico em 2011 tendo deslizado desde então, regredindo inclusivamente para patamares atingidos em 1999, antes do *boom* registado no início do corrente século.

A diminuição do custo das matérias-primas é um sintoma do reequilíbrio no mercado entre a oferta e a procura, particularmente vulnerável neste clima de estagnação (Armbrecht, 2015).

Há alguns anos atrás, como mencionado anteriormente as tensões nos recursos eram onnipresentes: os preços do petróleo, do carvão, do cobre, do minério de ferro e de diversas outras matérias-primas sofreram aumentos muito significativos em consequência da forte procura por parte da China (ver capítulo anterior, no caso do cimento). Em 2008, os gastos com recursos minerais subiram acima dos 6%, mais que triplicando a média das taxas verificada no PIB mundial. Num olhar mais atento sobre o pós-2011, constata-se por um lado a necessidade do uso mais eficiente dos recursos e simultaneamente como fazer face a um aumento dramático da oferta, com pouca margem de manobra para enfrentar ambos os lados da equação. Desde meados de 2014, que os preços das matérias-primas caíram drasticamente e os custos médios globais inerentes em cerca de -50%, só no ano de 2015 (Nyquist *et al.*, 2016).

A variação, ora dos preços ora do consumo provoca oscilações por determinados períodos como de ciclos se tratassem, quer com curvas descendentes quer ascendentes. Têm sido motivo de análise por diversos investigadores e economistas. Para Erten e Ocampo (2012) designam-se por “*Super Cycles of Commodity Prices since the Mid-nineteenth Century*”. Os autores relacionam a evolução do preço das mercadorias e os designados super ciclos, entre o ano de 1870 e 2008. Demostram que desde o final do século XIX, o seu valor foi submetido a três ciclos de longo prazo e a fase ascendente do quarto, impulsionado principalmente por mudanças na procura global. Os dois primeiros ciclos eram relativamente longos (quase quatro décadas), mas o terceiro foi menor (28 anos).

A volatilidade de preços das matérias-primas provoca oscilações no mercado assim como pode sujeitar as populações a efeitos inflacionários ou deflacionários de curto prazo

prejudicando o crescimento económico e o bem-estar das populações, dificultando simultaneamente a redução da pobreza mundial.

No intuito de verificar se existe um desacoplamento ou uma dissociação do uso de matérias-primas face ao crescimento económico (PIB), e conjuntamente determinar quantitativamente a evolução do esforço médio exigido por pessoa e a nível global no consumo de materiais, esta abordagem tem em consideração a influência do consumo de materiais (Mt) e dos seus custos associados (V_s) para satisfazer uma determinada necessidade, entre 1960 e 2015.

2.2. O esforço exigido por grupos de materiais

Esta análise aborda a evolução do consumo global de 79 materiais vitais na indústria e o seu impacto na riqueza gerada (PIB), subdivididos em 5 grupos principais que apresentaram a maior média de crescimento no capítulo anterior. Constituídos pelos Metais (31 materiais), pelos Semi-metais (6 materiais), pelos Não Metais (4 materiais), pelos Minerais (31 materiais) e pelas Rochas & Pedras (7 materiais). A não inclusão do grupo dos Plásticos deve-se ao facto de agruparem uma diversidade de tipos de polímeros com custos por tonelada bastante diferenciados entre si, inviabilizando portanto a sua análise.

Esta seleção é consequente destes 5 grupos de materiais representarem em 1960 cerca de um quarto (26%) do consumo (Mt) dos materiais analisados, passando para mais de metade (54,7%) no ano de 2015, totalizando $1,13 \times 10^{10}$ de toneladas métricas. Assim como fornecerem o maior número de materiais sob o efeito da materialização registado no capítulo anterior entre 1960 e 2015. Recordando, dos 26 materiais identificados vamos abordar 22 ou seja cerca de 85%. Neste caso, excluindo os Plásticos (motivo já abordado anteriormente) assim como o Aglomerado de madeira, das Fibras sintéticas e do Papel reciclado, o qual se torna inclusivamente benéfico para o meio ambiente.

A tabela 15 apresenta o indicador MICV - Valor do Consumo Individual (*per capita*) de materiais, que representa o MGCV a dividir pela população (P) mundial, sob a equação: $\frac{Mt \times V\$}{P}$. Assim como o IEME - Esforço Individual (*per capita*) dos materiais na economia, reflete o esforço médio exigido GEME *per capita* (P) a nível mundial, resultado da equação: $\frac{(Mt \times V\$) / G}{P}$.

Tabela 15. MICV e IEME por grupo de materiais e respetivas percentagens na economia entre 1960 e 2015.

Materiais	Metais	Semi-metais	Não metais	Minerais	Rochas e pedras	Soma
MICV em 1960 (US\$)	23,68	0,16	0,17	5,21	0,34	30
IEME em 1960 (%)	5,3%	0,035%	0,04%	1,15%	0,075%	6,56%
MICV em 2015 (US\$)	257,76	3,42	1,02	104,87	2,76	370
IEME em 2015 (%)	2,5%	0,034%	0,01%	1,04%	0,027%	3,65%
Variação (%) 1960-2015	-51,6%	-4,0%	-72,8%	-9,6%	-63,7%	-44,4%

Embora o valor médio do consumo deste conjunto de materiais *per capita* MICV, tenha aumentado a nível global entre 1960 de $8,97 \times 10^{10}$ (t) (30 US\$ *per capita*) para $2,72 \times 10^{12}$ (t)

(370 US\$ *per capita*) em 2015 no entanto, representou uma redução substancial da sua importância na riqueza gerada (PIB) passando de 6,56% para 3,65%, respetivamente. Traduz-se numa diminuição em cerca de -45% do esforço *per capita* IEME exigido para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este conjunto de materiais no período em questão.

De salientar que ao observar a *tabela 15* todos os grupos de materiais analisados apresentam uma característica em comum, a redução substancial do seu peso na economia, sendo que a evolução dos seus comportamentos tenha sido bastante diferenciada entre si.

— O grupo dos Semi-metais, embora com um valor residual entre os grupos analisados com cerca de 0,9%, registou a menor redução. Tendo os indicadores: (IEME) do esforço individual (*per capita*) dos materiais na economia dos 0,035% e do (MICV) valor do consumo individual (*per capita*) dos materiais de 0,16 US\$ no ano de 1960, passando para os 0,034% IEME e os 3,42 US\$ MICV em 2015. Resultou numa ligeira diminuição em cerca de -4% para a média dos materiais que compõem o grupo. Materiais como o boro e o silício muito contribuíram para tal, representando um aumento em mais de 110 e 50 vezes respetivamente, do seu peso na economia (MGCV), no período em questão. Salientando que o silício por si só representa 75% do grupo e o boro 19%, ou seja 94% do total do grupo aqui representado com apenas 2 elementos evidenciam a sua importância neste contexto.

— Em segundo lugar apresenta-se o grupo dos Minerais, curiosamente também o 2º mais significativo, passando dos 17,4% em 1960 para mais de 28% do total dos grupos analisados. Em 1960, esta classe era responsável por um custo de 5,21 US\$ anuais para satisfazer as necessidades associadas ao consumo deste conjunto de materiais (MICV), ou seja 1,15% do esforço individual (*per capita*) dos materiais na riqueza gerada (IEME) para os 104,87 US\$ (MICV) e 1,04%, respetivamente em 2015. Demonstrando uma diminuição de 9,6% no período em questão para a média do conjunto dos 32 materiais que compõem o grupo.

— O grupo dos Metais ocupa a terceira posição, embora representasse em 1960 cerca de 80% do total dos grupos analisados com 23,68 US\$ (MICV) para suprir as necessidades deste conjunto de materiais, representando um esforço de 5,3% IEME, passando para cerca de 70% com 257,76 US\$ (MICV) e 2,5% IEME em 2015. Demonstrou uma redução significativa no período em questão em mais de 51% para a média do conjunto dos 33 materiais que compõem o grupo.

— Seguido pelo grupo das Pedras e Rochas que representa em 2015, 0,75% do total dos grupos de materiais. Em 1960 cada pessoa para suprir determinadas necessidades com este conjunto de materiais necessitavam de 0,34 US\$ anuais (MICV), representando um esforço de 0,075% IEME, para 2,76 US\$ (MICV) e 0,027% IEME no ano de 2015. Estes dados apontam para que o total dos materiais do grupo resultou numa redução de cerca de 63% entre o ano de 1960 e o de 2015.

— O grupo dos Não metais apresenta a maior redução do conjunto de materiais analisados com uma acentuada queda em mais de 72% no período de tempo em questão. Em

1960 eram despendidos por pessoa 0,17 US\$ (MICV) e um esforço associado de 0,035% IEME, passando respetivamente para os 1,02 US\$ (MICV) e 0,01% IEME em 2015.

Antes de proceder a uma análise da evolução do peso ou do esforço realizado *per capita* no consumo de cada grupo de materiais face aos rendimentos disponíveis (IEME), proceder-se-á a uma abordagem global da soma dos diversos grupos de materiais que não contempla o crescimento da população entre o ano de 1960 e o de 2015 (GEME), no *gráfico 18*.

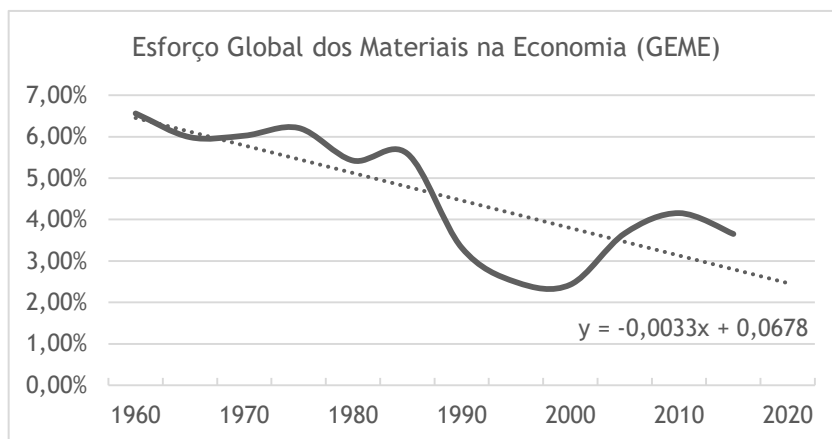


Gráfico 18. Evolução do esforço percentual médio exigido no consumo mundial de 79 materiais (GEME), em percentagem do PIB.

Verifica-se uma diminuição no período em questão do esforço global do conjunto de materiais face à afluência de 6,56% (GEME) em 1960 para 3,65% em 2015. Entre os anos de 1960 (6,5%) até 1985 (5,6%) regista-se uma diminuição da percentagem em cerca de 15%, denotando-se posteriormente uma queda abrupta em mais de 56% até ao ano de 2000 passando para 2,43% GEME. A partir de 2005 constata-se um aumento dos 3,67% do indicador GEME para os 4,15% em 2010 e nos próximos cinco anos, uma diminuição em mais de 12% para os 3,65% do GEME, mantendo aparentemente uma curva descendente.

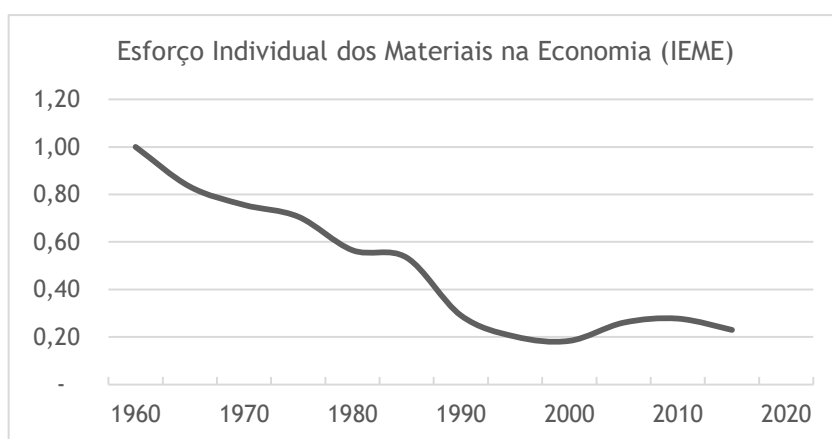


Gráfico 19. Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo dos 79 materiais na economia (IEME) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

Este contexto aplicado à abordagem do esforço *per capita* (IEME), demonstra um trajeto descendente relativamente similar, como se pode verificar no gráfico seguinte. No entanto,

quando confrontado com o aumento da população (P) mundial, apresenta resultados ainda mais expressivos da diminuição do esforço exigido, com uma redução em cerca de 80% no período em questão.

O conjunto de matérias-primas constituído por 5 grupos dos materiais analisados evidenciam uma redução substancial no esforço ou do seu peso no rendimento médio das populações para suprir determinadas necessidades (IEME). O *gráfico 19* é bastante elucidativo evidenciando uma trajetória descendente, praticamente ininterrupta até ao ano de 2000 (0,18) correspondendo a uma variação de cerca de -82%. Posteriormente verifica-se um aumento até ao ano de 2010 (0,28) retomando novamente a linha decrescente até ao ano de 2015 (0,23).

Resumindo, os dois últimos gráficos evidenciam respetivamente uma trajetória descendente traduzindo-se numa redução do esforço exigido tanto a nível global (GEME), como por pessoa (IEME) para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este conjunto de matérias-primas.

2.2.1. O esforço *per capita* exigido por grupo de materiais

Como referido anteriormente, a análise não contempla o crescimento da população, ou seja para satisfazer uma ou um conjunto de necessidades associadas a este conjunto de materiais, cada pessoa terá que realizar um determinado esforço para obtenção desses mesmos bens em função de um determinado rendimento (IEME). Para tal estipulou-se o indicador 1960 = 1, para uma melhor análise comparativa na evolução dos custos associados tendo em conta a variação dos preços (V_s) e do consumo (M_t) por grupo de material.

O *gráfico 20* reflete em primeiro lugar e com especial ênfase o grupo de Metais (constituído por 33 materiais), já que representa por si só cerca de 70% do esforço total dos diversos grupos em questão (GEME).

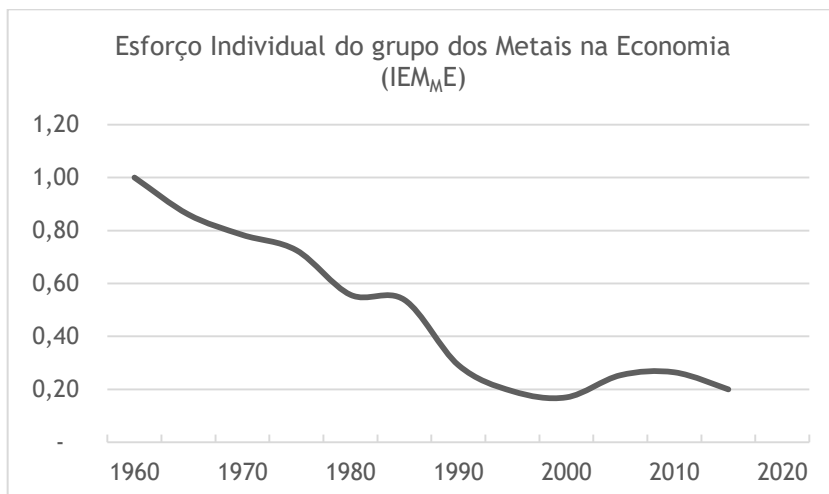


Gráfico 20. Evolução do esforço médio exigido per capita (IEME) no consumo do grupo dos metais na economia (IEM_{ME}) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

Ainda examinando o *gráfico 20* constata-se uma diminuição acentuada entre 1960 (1,00) e o ano 2000 (0,17), após o qual se verifica um ligeiro aumento até ao ano de 2010 (0,26)

voltando posteriormente a uma curva decrescente até 2015 (0,20). Resultando numa redução muito substancial do indicador IEME em cerca de 80% entre o ano de 1960 e o de 2015.

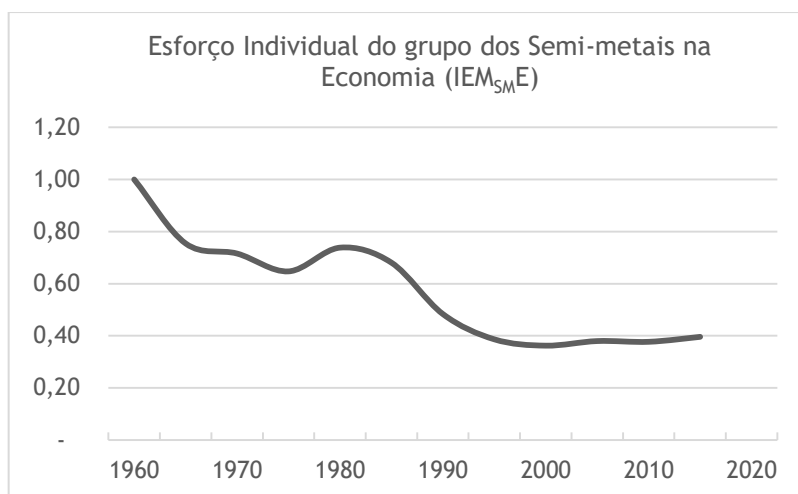


Gráfico 21. Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos semi-metais na economia (IEM_{SM}E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

O grupo dos Semi-metais (constituído por 7 materiais) apresenta uma diminuição entre o ano de 1960 (1,00) e o de 1975 (0,65), onde se inicia um ligeiro aumento atingindo (0,74) até 1980. Verifica-se posteriormente uma nova diminuição até ao ano de 1995 (0,39) seguido de uma estabilização até ao ano de 2015 (0,40). Este indicador IEM_{SM}E, evidencia uma redução em mais de 60% no período em análise.

Neste grupo dos Não metais observa-se uma diminuição desde o ano de 1960 (1,00) até 1970 (0,80), aumentando ligeiramente em 1980 (0,87), posteriormente regista-se uma queda acentuada em cerca de -90%, atingindo o mínimo no ano de 2000 (0,09).

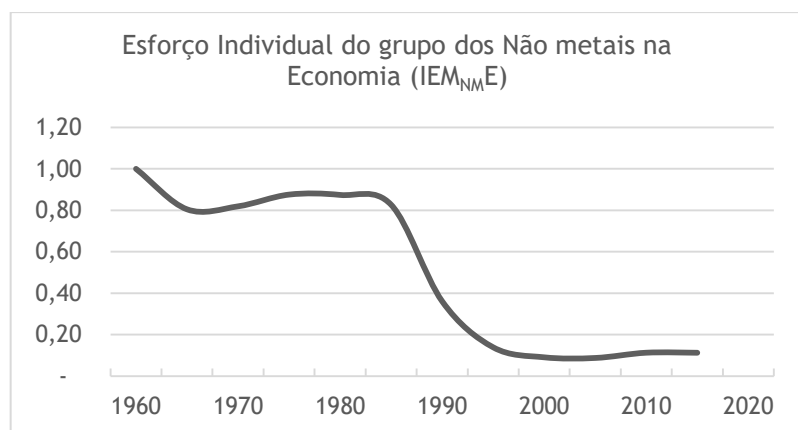


Gráfico 22. Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos não metais na economia (IEM_{NM}E) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

Aparentemente o grupo dos Não metais estabilizou nos anos subsequentes, representando apenas 0,27% em 2015 do esforço do total dos grupos em análise. O indicador IEM_{NM}E sofre uma redução muito significativa em cerca de 90% entre 1960 e 2015.

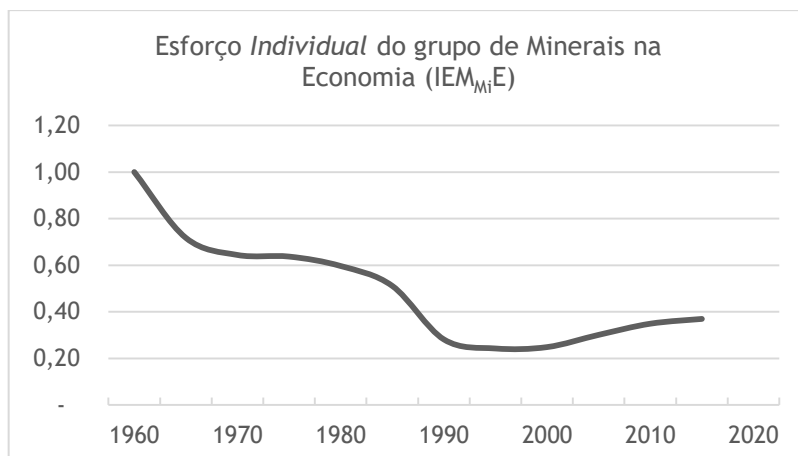


Gráfico 23. Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo dos minerais na economia (IEM_{MiE}) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

Relativamente ao grupo dos Minerais (constituído por 32 materiais) representa o segundo grupo com maior importância, em cerca de 24,4% do esforço total dos diversos grupos em questão. Apresenta uma diminuição até ao ano de 1970 (0,72) estabilizando até 1975 (0,64) enveredando posteriormente por uma curva descendente até ao ano de 2000 (0,25), descrevendo uma trajetória ascendente até 2010 (0,35) e aparentemente a normalizar até ao ano de 2015 (0,36). O indicador IEM_{MiE} revela uma diminuição em mais de 60% no período em questão.

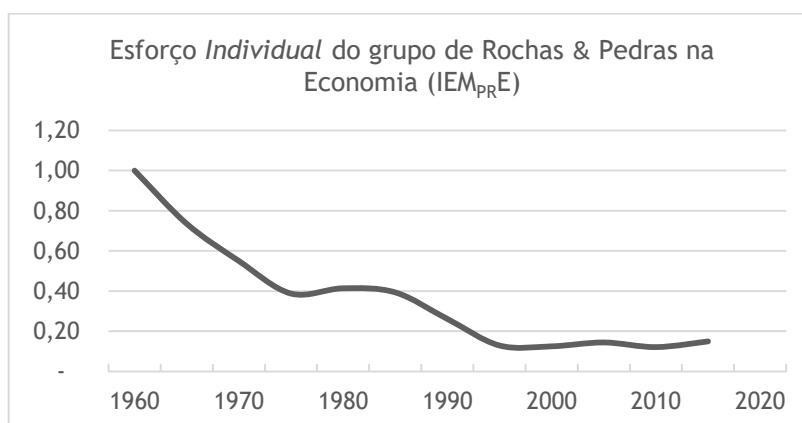


Gráfico 24. Evolução do esforço médio exigido per capita no consumo do grupo das rochas & pedras (IEM_{PR E}) entre 1960 e 2015 (sendo 1960 = 1).

O grupo das Rochas & Pedras sofreu uma diminuição da sua relevância no conjunto dos grupos analisados, passando dos 1,14% em 1960 para menos de 0,75% no ano de 2015. Revelando uma redução acentuada até ao ano de 1975 (0,39), estabilizando posteriormente até 1985 (0,39). Reduziu os índices em cerca de -67% até ao ano de 1995 (0,13), estabilizando até 2015. Este grupo entre o ano de 1960 e o de 2015 evidencia uma redução em mais de 80% no indicador do esforço exigido (IEM_{PR E}).

2.2.2. Evolução comparativa entre grupos

Vamos agora examinar a evolução percentual comparativa a nível mundial e *per capita* do consumo e respetivo impacto na economia dos 5 grupos (79 materiais) entre o ano de 1960 e o de 2015. Esta abordagem não pretende determinar se um material ou um conjunto de materiais sofre o efeito de desmaterialização, mas resulta sim numa tentativa de esclarecer e proporcionar um melhor entendimento da variação dos custos e respetivas consequências no consumo global, ou seja, se a economia se encontra a desacoplar ou a dissociar dos recursos naturais.

A variação dos índices de consumo de alguns materiais para satisfazer uma determinada necessidade pode ser influenciada quer pelo aumento como pela diminuição dos custos associados, em função de um determinado rendimento disponível, podendo funcionar como elemento impulsionador ou retardatário de um determinado desenvolvimento tecnológico.

Como se pode verificar na *tabela 16* as colunas com os indicadores (M_t) e (V_s) proporcionam uma análise comparativa da evolução percentual do consumo e do custo de materiais em toneladas métricas respetivamente, entre 1960 e 2015. Os 5 grupos em questão apresentam uma média de crescimento dos materiais (M_t) em toneladas métricas de 708%, passando das $1,82 \times 10^9$ (t) em 1960 para $9,53 \times 10^9$ (t) em 2015.

Relativamente ao Valor da tonelada (V_s) apresenta uma variação percentual de 886%, ou seja representa um acréscimo em cerca de 25% relativamente ao indicador M_t , provocando mais uma vez uma dissociação. Referindo que este fenómeno já se tinha verificado no capítulo anterior (*gráfico 13, pág. 30*), relativamente à Intensidade do Uso dos 114 materiais entre 1960 e 2015, que resulta em certa medida de uma utilização mais eficiente dos recursos naturais provocando um maior crescimento da economia comparativamente ao do consumo de materiais (Devezas *et al.* 2017).

Tabela 16. Análise comparativa percentual dos diversos indicadores por grupo de materiais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Materiais	M_t	V_s	MGCV	GEME	IEME
Metais	471%	2 175%	2 538%	-52%	-80%
Semi-metais	1 059%	599%	5 134%	-4%	-60%
Não metais	252%	576%	1 385%	-73%	-89%
Minerais	593%	725%	4 829%	-10%	-63%
Rochas & Pedras	1 164%	352%	1 879%	-64%	-85%
Variação média (%)	708%	886%	2 252%	-40%	-75%

De salientar que no grupo dos Semi-metais e no das Rochas & Pedras a taxa média de crescimento no consumo de materiais (M_t) foi superior ao valor registado por tonelada (V_s), tendo os restantes grupos demonstrado um comportamento inverso, ou seja, de desacoplamento entre o crescimento da economia face ao consumo global de materiais.

A quarta coluna com o indicador (MGCV) fornece uma análise comparativa da variação percentual entre o ano de 1960 e o de 2015. Decorrente do consumo mundial de matérias-primas (M_t) multiplicado pelo valor (médio) de mercado da tonelada métrica (V_s) por grupo de materiais ($M_t \times V_s$). Observa-se que durante esse período de tempo o PIB mundial (*current* US\$) revela um crescimento de 5 352% e a média dos grupos de materiais apresentam um crescimento inferior com 2 252%. Os grupos dos materiais que apresentam maior crescimento neste indicador (embora inferiores aos verificados pelo PIB) são encabeçados pelos Semi-metais com 5 134%, seguido pelo dos Minerais com 4 829%, tendo os restantes grupos (3) apresentado taxas de crescimento sempre inferiores em menos de metade do verificado pela economia a nível global.

Com o intuito de proporcionar uma análise da variação percentual do valor dos grupos de materiais comparativamente à riqueza gerada no PIB - Produto Interno Bruto (G) entre 1960 e 2015 atribuiu-se a designação do esforço na economia global através da designação GEME e resulta da equação $\frac{M_t \times V_s}{G}$. Este indicador revela que a variação média dos grupos em questão reduziu em cerca de 40%, representando uma diminuição muito substancial do peso na economia global. Os grupos dos Não metais e das Rochas & Pedras atingiram a percentagem máxima com -73% e -64% respetivamente da sua importância relativamente ao PIB. Numa taxa mais moderada, embora descendente temos os Semi-metais com -4%, seguido dos Minerais com -10%.

Relativamente à sexta coluna, esta proporciona uma visão da evolução média do Esforço Individual (*per capita*) por grupo de Materiais na Economia (IEME) a nível mundial, oferecida através da equação: $\frac{(M_t \times V_s) / G}{p}$. Como se pode verificar a média dos 5 grupos apresenta uma diminuição substancial em menos de 75% no período em questão. É curioso verificar que as percentagens todas negativas oscilem com um comportamento mais uniforme do que o verificado na coluna anterior. Entre os que apresentam maior diminuição encontram-se os grupos dos Não metais, das Rochas & Pedras, seguido pelo dos Metais com -89%, -85% e -80% respetivamente. Embora evidencie taxas com pendor negativo mas menos acentuado temos o grupo dos Semi-metais e dos Minerais com -60% e -63%.

2.3. O esforço exigido por material na economia

Vamos agora examinar nos próximos cinco quadros (*tabela 17*) o comportamento das taxas de crescimento verificadas nos indicadores dos diversos materiais que compõem cada grupo assim como a sua variação média entre o ano de 1960 e o de 2015.

A 1ª coluna enumera os diversos materiais que compõem cada grupo por ordem alfabética. O indicador que ocupa a 2ª coluna quantifica percentualmente a evolução da taxa de crescimento do consumo por material em toneladas métricas a nível global no período em análise. Seguido pelo indicador (V_s) na 3ª coluna, relativo ao valor médio da tonelada métrica a preços de mercado (US\$) das respetivas matérias-primas observadas. De referir que as duas últimas colunas referidas (M_t) e (V_s), permitem inclusivamente estabelecer comparativamente

qual dos indicadores é o elemento mais preponderante para impulsionar o crescimento do esforço médio exigido.

A 4ª coluna com o indicador MGCV aborda o valor do consumo global dos materiais consumidos resultado da multiplicação dos dois indicadores antecedentes ($M_t \times V_s$).

O indicador GEME por sua vez quantifica a evolução do esforço global dos materiais face à riqueza gerada (G) pela economia global.

O último indicador do quadro representado com o acrónimo IEME concerne à evolução do esforço médio exigido por indivíduo utilizando estas matérias-primas para satisfazer uma determinada necessidade entre 1960 e 2015.

2.3.1. Metais

O grupo dos Metais composto por 31 materiais é o que apresenta no período em questão (*capítulo 1, tabela 9, pág. 31*) um maior crescimento no número de elementos que se encontram sob o efeito da materialização. Desses 31 materiais (*ver tabela 17, pág.56*), pode verificar-se que para 14 deles o aumento do esforço exigido atribui-se principalmente ao impulso sofrido pelo consumo (M_t), enquanto nos restantes 17 observa-se a maior contribuição pelo indicador do custo (V_s). Sendo de destacar entre eles o consumo do estrôncio com um aumento de 2 978%, seguido do gálio com 2 831%, do nióbio com 2 493% e do cobalto que resulta da soma de duas fontes (mina e refinaria) com 1 473%. Relativamente aos materiais que sofrem um efeito de forte desmaterialização destacam-se o berílio com -48%, o mercúrio com -61% e o tálio com o equivalente a -23%. Comprova-se que nestes últimos materiais, como abordado anteriormente, a diminuição se deve essencialmente a restrições provocadas por questões ambientais e riscos associados para a saúde pública.

É curioso verificar no entanto que o maior aumento do valor por tonelada (V_s) entre todos os materiais analisados se registou precisamente com o tálio (Ti) com uns impressionantes 44 748%, passando dos 16 500 (US\$) por tonelada para 7 400 000 (US\$) em 2015. Espreitando para o seu impacto na economia PIB com um crescimento de 533% e do esforço *per capita* 161% para satisfazer uma determinada necessidade, o seu impacto é positivo na perspetiva do desacoplamento em virtude de se verificar um aumento muito significativo na economia face a uma diminuição efetiva e substancial do seu consumo real a nível mundial. Por ventura pode concluir-se que existem determinadas necessidades na sociedade.

Na procura de materiais que dão corpo a equipamentos imprescindíveis, em tecnologias tais como a deteção de radiação infravermelha, na radiação gama e na medicina que independentemente dos possíveis riscos para meio ambiente continuam supostamente insubstituíveis para a realização de determinadas atividades consideradas indispensáveis, resultando num aumento extraordinário dos custos associados. Eventualmente é também o caso do mercúrio (779%) utilizado em diversos setores de atividade como a medicina e na investigação científica através de instrumentos de medição (barómetros, termómetros, entre outros), em pilhas assim como em catalisadores. Outros materiais como o ouro (3 210%) e a prata (1 624%) geralmente conotados como metais preciosos e utilizados desde a antiguidade

em joalharia e posteriormente como dinheiro padrão, apresentam atualmente outro tipo de utilidades como na indústria eletrónica, na indústria aeroespacial ou nas comunicações. O crómio (2 516%) muito utilizado em produtos metalúrgicos e o potássio (1 516%) um metal alcalino com diversas utilizações, no entanto mais recentemente, é frequente a sua utilização nas células fotovoltaicas (que apresentam taxas de crescimento muito consideráveis).

Dos materiais analisados no grupo, o gálio é o que apresenta a maior redução do valor (V_s) em cerca de -88%, passando dos 2 600 000 (US\$) em 1960 para 317 000 (US\$) e simultaneamente como já verificado anteriormente um dos que apresenta maior taxa de crescimento (M_t). Portanto é um material a reter e a analisar posteriormente em consequência do seu comportamento. É muito utilizado em tecnologias de informação tais como em circuitos integrados, em díodos, em lasers assim como na medicina ou mais recentemente em combustíveis.

Outro material que apresenta uma variação negativa é o cádmio (-56%), sendo considerado dos metais existentes mais tóxicos embora indispensável para uma grande variedade de aplicações. Não muito abundante na crosta terrestre, proveniente essencialmente de minas de zinco é utilizado na sua grande maioria em baterias ou na aplicação em processos de revestimento para metais.

O impacto do consumo (M_t) multiplicado pelo valor (V_s) resulta no indicador MGCV na quarta coluna onde o cádmio também apresenta valores negativos (-8%), indicando que o desacoplamento da economia do consumo de materiais não se verifica. O berílio é o segundo material do grupo que apresenta menor taxa de crescimento com uns modestos 67% entre o ano de 1960 e o de 2015. Nesta coluna os maiores crescimentos verificam-se no tálio com 34 399%, no estrôncio com uma taxa de 25 012% e no cobalto com 13 451%.

A generalidade dos materiais analisados apresenta uma redução muito substancial em 20 materiais na coluna do esforço global exigido pelos materiais na economia GEME comparativamente aos 11 materiais onde se verifica um aumento. O elemento que apresenta maior taxa de crescimento é encabeçado pelo tálio com 533%, seguido pelo estrôncio com 361%, do crómio com 259%, do nióbio com 199% e do índio com 189%. Em sentido contrário com as maiores descidas encontra-se o cádmio com -98%, o berílio com -97%, o mercúrio por sua vez com -94% e o gálio com -96%.

No entanto, este desnível ainda é mais evidente no indicador do esforço individual (*per capita*) dos materiais na economia IEME, onde dos 31 materiais analisados somente 6 registam um aumento tendo os restantes 25 demonstrado uma direção oposta com uma redução média no esforço da sua aquisição para satisfazer uma necessidade.

A liderar este grupo de Metais temos o berílio e o cádmio com -99% seguido do gálio e do mercúrio com -97% e do estanho -91%, tendo os restantes valores inferiores a -90%, no entanto muito significativos para confirmar o desacoplamento verificado na generalidade dos materiais entre o ano de 1960 e o de 2015.

Tabela 17. Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (31) do grupo dos metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Metais	Mt	V _s	MGCV	GEME	IEME
Aço	365%	447%	2 447%	-53%	-81%
Alumínio	1 181%	239%	4 236%	-20%	-67%
Berílio	-48%	223%	67%	-97%	-99%
Bismuto	454%	237%	1 766%	-66%	-86%
Cádmio	109%	-56%	-8%	-98%	-99%
Chumbo	107%	664%	1 483%	-71%	-88%
Cobalto	1 473%	761%	13 451%	149%	3%
Cobre	385%	692%	3 741%	-30%	-71%
Composto de magnésio	306%	463%	2 189%	-58%	-83%
Crómio	649%	2 516%	19 491%	259%	48%
Estanho	59%	646%	1086%	-78%	-91%
Estrôncio	2 978%	716%	25 012%	361%	90%
Ferro Gusa	348%	258%	1 504%	-71%	-88%
Gálio	2 831%	-88%	257%	-93%	-97%
Índio	1 024%	619%	7 171%	189%	45%
Lítio	593%	179%	1 831%	-65%	-85%
Magnésio	946%	493%	6 107%	14%	-53%
Manganês	186%	1 173%	3 540%	-33%	-72%
Mercurio	-61%	779%	245%	-94%	-97%
Nióbio	2 493%	635%	7 251%	199%	49%
Níquel	613%	624%	5 058%	-5%	-61%
Ouro	161%	3 210%	8 522%	58%	-35%
Platina	1 091%	739%	9 890%	83%	-24%
Potássio	348%	1 516%	7 133%	33%	-45%
Prata	243%	1 624%	5 810%	8%	-55%
Rénio	657%	167%	1 922%	-63%	-85%
Tálio	-23%	44 748%	34 399%	533%	161%
Tântalo	202%	1 249%	3 967%	-25%	-69%
Tungsténio	187%	1 115%	3 383%	-36%	-74%
Vanádio	1 444%	202%	4 562%	-14%	-65%
Zinco	314%	638%	2 956%	-44%	-77%
Variação média (%)	471%	2 175%	2 538%	-52%	-80%

Os 6 metais que apresentam um maior crescimento, ou seja, que exigem um maior despendido ou custos associados e que se traduzem num suplemento ao esforço *per capita* exigido para satisfazer uma determinada necessidade de um material passam a descrever-se: o tálio que lidera com 161%, seguido do estrôncio com 90%, do nióbio com 49%, do crómio com 48%, do índio com 45% e por último o cobalto com 3% (que como já foi abordado anteriormente engloba a exploração em mina e refinaria). De referir que dos 6 metais, 4 são impulsionados com maior pendor pelo consumo como é o caso do estrôncio, do nióbio, do índio e do cobalto. Os restantes 2 elementos são impulsionados pelo valor (V_s) como é o caso do crómio que registou

um aumento de 2 516% e do tálio que multiplicou por cerca de 45 vezes o valor registado em 1960, tendo em simultâneo diminuído o seu consumo real no período em questão em 23%.

2.3.2. Semi-metais

O grupo dos Semi-metais é composto por 6 materiais apresentando um maior crescimento percentual do consumo (M_t) no período em questão num único elemento (o boro), comparativamente ao indicador do custo (V_s) que se torna no que demonstra maiores taxas de crescimento entre os materiais analisados, englobando a grande maioria (os cinco elementos restantes).

O boro como mencionado é o material que apresenta uma maior variação percentual (M_t) com 3 508% passando das 260 000 t (toneladas métricas) em 1960 para 9 380 000 t em 2015. Em sentido contrário temos o telúrio com -46% e o arsénio que passa das 39 400 t em 1960 para 27 600 t em 2015 representando uma diminuição percentual de -30%.

O antimónio e o telúrio são dos Semi-metais os que apresentam as maiores taxas de crescimento (V_s), sendo muito similares com 943% e 938%, passando dos 690 US\$ em 1960 para 7 200 US\$ em 2015 e respetivamente dos 7 420 US\$ em 1960 para 77 000 US\$ em 2015. Embora sejam ambos os elementos potencialmente tóxicos, somente o telúrio apresenta uma redução efetiva no seu consumo. O silício por sua vez apresenta a terceira taxa mais elevada com 646% passando dos 338 US\$ por tonelada em 1960 para 2 520 US\$ em 2015.

Na quarta coluna com o indicador MGCV ($M_t \times V_s$) o boro volta ao destaque com um extraordinário aumento de mais de 110 vezes (11 011%), ocupando a primeira posição. Não menos importante o silício com 5 034%, embora apresente um aumento inferior no entanto, no cômputo geral é o elemento mais significativo representando por si só cerca de 76% do impacto médio de todo o grupo.

Tabela 18. Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (6) do grupo dos semi-metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Semi-metais	M_t	V_s	MGCV	GEME	IEME
Antimónio	166%	943%	2 680%	-49%	-79%
Arsénio	-30%	545%	352%	-92%	-97%
Boro	3 508%	208%	11 011%	104%	-16%
Germânio	253%	317%	1 372%	-73%	-89%
Silício	575%	646%	5 034%	-8%	-62%
Telúrio	-46%	938%	993%	-80%	-91%
Variação média (%)	1 059%	599%	5 134%	-4%	-60%

A generalidade dos materiais analisados apresenta uma redução média muito substancial na coluna do esforço na economia GEME $\frac{M_t \times V_s}{G}$, excetuando o boro que duplica o seu impacto na economia mundial de 104% entre 1960 e 2015. Este indicador revela um aumento da importância na sociedade deste material para satisfazer uma determinada necessidade. Os

restantes elementos evidenciam uma diminuição generalizada atingindo maiores proporções no arsénio (-92%), seguido do telúrio (-80%) e germânio (-73%) e menores no silício (-8%).

A última coluna relativa ao esforço exigido individualmente (*per capita*) dos materiais na economia IEME $\frac{(M_t \times V_s) / G}{P}$, observa-se uma redução *per capita* muito substancial do peso ou do esforço despendido para satisfazer uma necessidade. Atingindo maiores percentagens no arsénio com -97%, no telúrio com -91% e no germânio com -89% e menor no boro com -16%.

2.3.3. Não metais

Relativamente ao grupo dos Não metais (4 materiais) à semelhança do verificado no grupo anterior só apresenta um crescimento superior no volume de toneladas consumidas (M_t) relativamente ao custo (V_s) no bromo com 271%, passando das 92 300 t em 1960 para 342 000 t em 2015. Embora seja o elemento que regista maior crescimento percentual é conveniente referir que tem um impacto relativamente modesto neste contexto, já que representa cerca de 0,5% do total do grupo (M_t). No entanto o valor da tonelada (V_s) deste material é o que apresenta o crescimento mais modesto do grupo com 223%, seguido do selénio com 227% e do enxofre com 284% passando dos 22,80 US\$ em 1960 para 87,50 US\$ em 2015. O iodo é o elemento que apresenta maior taxa de crescimento com 1 570%, passando dos 1 659 US\$ em 1960 para 27 700 US\$ em 2015, por tonelada métrica.

A quarta coluna MGCV relativo ao valor do consumo global dos não metais ($M_t \times V_s$), é liderada pelo iodo com 16 762%, resultado das taxas de crescimento consideráveis verificadas quer no indicador (M_t) quer no (V_s) embora com maior preponderância neste último com 1 570%. O caso do enxofre que ocupa a segunda posição (1 251%) em termos de crescimento no período em análise é por sua vez o material com maior impacto já que representa em 2015 cerca de 81% de todo o grupo. Tendo os restantes elementos apresentado uma taxa de crescimento mais distante da média registada no conjunto.

Tabela 19. Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (5) do grupo dos não metais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Não metais	M_t	V_s	MGCV	GEME	IEME
Bromo	271%	223%	1 098%	-78%	-91%
Enxofre	252%	284%	1 251%	-75%	-90%
Iodo	910%	1 570%	16 762%	209%	28%
Selénio	190%	227%	849%	-83%	-93%
Variação média (%)	252%	576%	1 385%	-73%	-89%

O impacto do esforço global deste grupo na economia GEME $\frac{M_t \times V_s}{G}$ é modesto com uma redução efetiva média de -73% provocado essencialmente por três dos materiais, o selénio com -83%, o bromo com -78% e o enxofre com -75%. O iodo por sua vez apresenta um crescimento substancial em 209%, no entanto com um impacto modesto de cerca de 11% do total do grupo na economia mundial.

O comportamento que se observa do esforço médio *per capita* IEME face a um determinado rendimento é muito similar ao verificado na coluna anterior, no entanto mais reduzido em consequência do aumento da população mundial em 142% no período em questão.

2.3.4. Minerais

O grupo dos Minerais é composto por 31 elementos representando em termos de consumo de toneladas métricas, cerca de 68% dos 5 grupos analisados. Verifica-se que só 9 dos materiais apresentam maior crescimento no consumo (M_t), sendo os restantes vinte e dois mais impulsionados pelo valor (V_s).

As terras raras apresentam a maior taxa de crescimento no indicador (M_t) entre o ano de 1960 e o de 2015 com 5 627% passando das 2 270 t em 1960 para 130 000 em 2015, representando no entanto somente 0,23% do grupo dos Minerais. O segundo material que apresenta um maior crescimento é a wollastonita com 1 857%, seguido pelo feldspato com 1 346% e pelo cimento com 1 183%. Este último material representa mais de 55% de todo o grupo, tendo sido consumidas $3,16 \times 10^8$ toneladas em 1960 passando para $4,06 \times 10^9$ em 2015.

Relativamente aos materiais que apresentam valores negativos, ou seja uma diminuição do consumo, temos a mica em folha com -82% que regista um consumo de 2 300 t em 2015 contra as 13 100 t em 1960. O segundo elemento que apresenta uma descida mais acentuada é a mica natural com -60% e o amianto com -8%. Em contrapartida, o amianto também é dos materiais que apresenta maiores taxas de crescimento no valor (V_s). Coincidência ou não, as restrições governamentais fizeram disparar os custos associados ao seu uso. Em 1960, o custo da tonelada era de 103 US\$ mantendo posteriormente um crescimento moderado até 2010 onde atingiu o valor de 172 US\$, galopando posteriormente até 2015, alcançando uns extraordinários 1 780 US\$.

No entanto, dos materiais que apresentam maiores crescimentos no período em questão podem destacar-se a grafite com 3 009% que passa dos 40,2 US\$ em 1960 para 1 250 US\$ em 2015. O zircónio ocupa a segunda posição registando um crescimento percentual de 1 793% que por sua vez passa dos 52,1 US\$ em 1960 para 986 US\$ em 2015, tendo atingido o seu valor máximo (V_s) em 2011 com 1 660 US\$. É de registar que os únicos elementos que reduziram o seu valor (V_s) foram a mica natural e em folha, eventualmente por uma queda abrupta na procura, consequência de uma substituição por outros materiais que oferecem melhores condições para satisfazer determinadas necessidades.

A quarta coluna relativamente ao valor do consumo global de materiais MGCV ($M_t \times V_s$) é liderada pelas terras raras com um aumento percentual muito significativo em 22 387% seguido de muito perto pelo zircónio com 22 199%. Embora demonstrem uma evolução muito similar, no entanto o zircónio é impulsionado com maior influência pelo valor (V_s) e as terras raras pelo consumo (M_t). O feldspato e a wollastonita também apresentam taxas de crescimento consideráveis com 16 553% e 13 922%, respetivamente.

Tabela 20. Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (31) do grupo dos minerais e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Minerais	Mt	V _s	MGCV	GEME	IEME
Abrasivos (naturais)	77%	274%	-100%	-67%	-82%
Alumina	592%	530%	4 258%	-20%	-67%
Amianto	-8%	1 628%	1 487%	-71%	-88%
Barite	173%	1 062%	3 078%	-42%	-76%
Cal	415%	744%	4 242%	-20%	-67%
Carbonato de sódio	271%	446%	1 924%	-63%	-85%
Cianite	332%	545%	2 683%	-49%	-79%
Cimento	1 183%	433%	6 735%	25%	-48%
Cristal de quartzo	5%	579%	610%	-71%	-86%
Escória de Ilmenite e Titânio	525%	1 149%	5 625%	64%	-25%
Feldspato	1 346%	1 052%	16 553%	205%	26%
Fluorite	230%	306%	1 241%	-75%	-90%
Fosfato de rocha	477%	1 020%	6 359%	18%	-51%
Gipsita	550%	12%	625%	-87%	-95%
Grafite	174%	3 009%	8 406%	56%	-36%
Ilmenite	332%	785%	3 723%	-30%	-71%
Mica (folha)	-82%	-67%	-94%	-100%	-100%
Mica flocos	874%	977%	10 391%	92%	-21%
Mica Natural	-60%	-82%	-93%	-100%	-100%
Minério de ferro	344%	830%	4 025%	-24%	-69%
Molibdénio	482%	377%	2 674%	-49%	-79%
Óxido de ferro	169%	606%	833%	-42%	-67%
Perlite	245%	548%	1 683%	-29%	-65%
Rutilo	717%	442%	4 333%	-19%	-66%
Sal	220%	602%	2 143%	-59%	-83%
Sulfato de sódio	113%	605%	1 480%	-36%	-66%
Talco e Pirofilita	233%	788%	2 860%	-46%	-78%
Terras-raras	5 627%	293%	22 387%	312%	70%
Vermiculita	68%	586%	1 053%	-79%	-91%
Wollastonita	1 857%	617%	13 922%	157%	6%
Zircónio	1 078%	1 793%	22 199%	309%	69%
Variação média (%)	593%	725%	4829%	-10%	-63%

Estes elementos embora sejam impulsionados pelo consumo (Mt), as quantidades são bastante reduzidas já que representam 0,003% e 0,009% do total do grupo. Por sua vez, os materiais que demonstram uma evolução negativa são os abrasivos e as micas demonstrando uma redução do seu peso no PIB muito consideráveis. Neste contexto da evolução do consumo (Mt) e do valor (V_s) um especial destaque para o comportamento do cimento e do minério de ferro que representam 55,5% e 24% respetivamente, do total do grupo. Enquanto no cimento se verifica um aumento com maior influência provocada pelo consumo (Mt) com 1 183% contra

os 433% (V_s), o minério de ferro por sua vez sofre maior pressão pelo valor (V_s) com 830% face aos 344% (Mt) do consumo.

O impacto médio sofrido na economia deste conjunto de materiais através do esforço global exigido na economia com o indicador GEME tem vindo a diminuir e cifra-se em cerca de -10% entre o ano de 1960 e o de 2015, embora 9 deles apresentem taxas positivas o que se traduz numa contribuição percentual superior ao verificado pelo PIB. É o caso do zircónio (309%) e das terras raras (312%) que ocupam os primeiros lugares seguido do feldspato (205%) e da wollastonita (157%). Em sentido inverso, ou seja com uma diminuição do seu impacto na economia mundial temos os restantes 22 materiais representando mais de 70% do total do grupo. Estes indicadores permitem concluir que se verifica um desacoplamento crescente dos materiais face à riqueza gerada.

A última coluna sobre o esforço individual despendido na utilização deste conjunto de minerais IEME tem vindo a diminuir muito substancialmente (-63%). Dos 31 elementos somente 4 (13% do grupo) revelam aumento. Traduzindo-se num crescente esforço médio exigido no seu uso por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade ao longo do tempo. A destacar novamente e de muito perto as terras raras (70%) e o zircónio (69%), seguidos pelo feldspato (26%) e a wollastonita (6%).

Os restantes elementos demonstram uma redução do esforço *per capita* IEME na sua utilização, evidenciando claramente o efeito de desacoplamento do consumo de recursos naturais comparativamente ao crescimento da economia global nos restantes 27 elementos.

2.3.5. Rochas & Pedras

O grupo das Rochas & Pedras (constituído por 7 materiais) demonstra o maior crescimento em termos percentuais do consumo global médio (Mt) dos elementos analisados com 1 164%. Os diamantes industriais (21 126%) e a granada (14 222%) muito contribuíram para tal, embora a sua importância no grupo seja relativamente modesta atingindo em 2015 os 0,28% por parte dos diamantes industriais e de 0,34% da granada. A bauxite, com um aumento de 962% é o elemento mais preponderante do grupo tendo em consideração que por si só representa cerca de 58% do consumo (Mt) total, passando das $2,76 \times 10^7$ toneladas consumidas em 1960 para $2,93 \times 10^8$ em 2015.

O indicador do valor da tonelada métrica a preços de mercado (V_s) tem sofrido um impulso mais significativo por parte da areia e gravilha (1 227%), da pedra-pomes (559%) e da diatomite (482%). Com uma influência mais limitada temos a bauxite (196%) que viu o preço da tonelada subir dos 8,79 US\$ em 1960 para os 26 US\$ em 2015.

Os elementos que têm proporcionado descidas mais abruptas são liderados pelos diamantes industriais com uma redução de -93%, seguido de perto pelas pedras preciosas (-89%), passando respetivamente dos 19 700 000 US\$ por tonelada em 1960 para 1 400 000 US\$ em 2015 e dos 428 000 000 US\$ em 1960 para os 48 300 000 US\$ em 2015, respetivamente.

Tabela 21. Análise comparativa em termos percentuais dos diversos indicadores em questão por material (7) do grupo das Rochas & Pedras e respetiva variação média entre 1960 e 2015.

Rochas & Pedras	Mt	V _s	MGCV	GEME	IEME
Areia e gravilha Industriais	64%	1 227%	659%	14%	-31%
Bauxite	962%	196%	3 040%	-42%	-76%
Diamantes Industriais	21 126%	-93%	1 408%	-72%	-89%
Diatomite	89%	482%	1 002%	-80%	-92%
Granada (industrial)	14 222%	180%	39 946%	634%	203%
Pedra-pomes	56%	559%	932%	-81%	-92%
Pedras preciosas	930%	-89%	20%	-98%	-99%
Variação média (%)	1 164%	352%	1 879%	-64%	-85%

O maior crescimento registado na quarta coluna relativamente ao valor do consumo global MGCV é proporcionado pela granada com uns extraordinários 39 946% em consequência de um aumento mais significativo do indicador (Mt) do consumo com 14 222% do que do valor (V_s) com 180%. Embora este elemento no contexto do grupo atinga somente 2,4% do grupo, contudo agrega à economia cerca de 487 milhões de US\$ em 2015. A bauxite com um crescimento de 3 040%, neste item representa cerca de 38% do total do grupo, só superado pela areia e gravilha que embora apresente um crescimento percentual mais modesto (659%), o seu impacto no grupo é mais substancial em 2015 com cerca de 44%. As pedras preciosas apresentam uma menor percentagem de valor agregado com 20%, derivado em grande medida pela diminuição do seu valor (V_s) em -89% do preço por tonelada no período em questão.

O indicador do esforço exigido na economia GEME, relativo à percentagem do crescimento dos materiais apresenta um grande crescimento na granada com 634%, seguido da areia e gravilha com 14%. Em sentido contrário encontram-se os restantes 5 materiais que demonstram uma diminuição muito substancial do seu impacto na economia global (PIB).

Tendo em consideração ao esforço percentual médio despendido por pessoa IEME no uso dos constituintes do grupo das Rochas & Pedras, traduz-se numa redução média de -85% comparativamente entre o ano de 1960 e o de 2015. O único elemento que vê a sua importância aumentar pertence à granada com 203%. Os restantes 6 materiais (97,6% do grupo) apresentam reduções muito substanciais provocando uma diminuição percentual do esforço IEME exigido para satisfazer uma necessidade.

2.4. Comparativo dos materiais impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelos custos associados.

O impacto dos materiais na economia e no meio ambiente dependem em certa medida do desacoplamento do consumo/produção de materiais e da riqueza gerada (UNEP, 2011). No entanto, fatores indissociáveis permitem determinar a sua influência no grau de importância relativa dos elementos determinando se é impulsionada com maior pendor pelo consumo (M_t), ou pelos custos associados (V_s). Para tal, em jeito de contabilidade da soma dos grupos acima

abordados individualmente foi elaborada a *tabela 22* sobre o comportamento dos materiais entre o ano de 1960 e o de 2015.

Como se pode verificar na segunda coluna, resultado de uma análise comparativa no intuito de quantificar os materiais pelos grupos analisados subdividida por uma cor mais clara (M_t) e mais escura (V_s). A soma dos grupos indica que 50 dos materiais (63%) sofrem uma influência com maior pendor sobre o valor (V_s) e os restantes 29 (37%) pelo aumento do consumo (M_t). Boas notícias para o desacoplamento tendo em consideração que o grupo das Rochas & Pedras é o único que apresenta maior número de materiais na coluna mais clara (M_t) com 4 elementos comparativamente aos 3 observados na coluna mais escura (V_s), tendo os restantes grupos um comportamento inverso.

A terceira coluna com o indicador relativo ao esforço exigido globalmente na economia GEME, quantifica a evolução do impacto da soma dos grupos dos materiais relativamente ao PIB (G), ou seja da sua importância na economia global. Verifica-se que dos 79 elementos analisados, 24 deles (30%) integram a sub-coluna mais escura apresentando um acréscimo do seu peso na economia entre o ano de 1960 e o de 2015. Os restantes 55 materiais (70%) revelam uma diminuição, traduzindo-se numa redução muito substancial da sua importância relativa face à riqueza gerada. Este desacoplamento ou dissociação é perceptível em todos os grupos analisados, neste caso a variação é superior à verificada na segunda coluna do indicador GEME.

Tabela 22. Esforço global e per capita por grupo de materiais impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelo valor de 79 materiais entre 1960 e 2015.

Materiais	(M_t)	(V_s)	GEME		IEME	
Metais	14	17	11	20	6	25
Semi-metais	1	5	1	5	0	6
Não metais	1	3	1	3	1	3
Minerais	9	22	9	22	4	27
Rochas & Pedras	4	3	2	5	1	6
Variação (%)	37%	63%	30%	70%	15%	85%
Soma	29	50	24	55	12	67

O grupo dos Semi-metais representa no período em análise cerca de 0,03% do PIB, onde um único elemento (o boro) apresenta um maior impacto no PIB tendo os restantes diminuído muito substancialmente os seus índices.

O grupo dos Não metais que em 1960 era responsável por 0,04% do PIB mundial passando para 0,01% em 2015 (e à semelhança do verificado no grupo anterior) também só apresenta 1 dos elementos (o iodo) com uma taxa de crescimento superior ao da riqueza gerada, tendo os restantes elementos verificado uma diminuição.

Relativamente ao grupo das Rochas & Pedras que em 1960 representava 0,07% do PIB viu a sua percentagem diminuir para 0,27% em 2015. A esse facto não é alheio que dos 7 materiais que o compõem, 5 viram reduzir a sua importância relativa.

Os Metais não são exceção vendo diminuir a sua importância no PIB dos 5,3% registados em 1960 para menos de metade 2,5% em 2015, embora 11 dos elementos que o compõe apresente um crescimento superior ao manifestado pela economia. A sua grande maioria (20 elementos) descreve um trajeto contrário.

Por sua vez o grupo dos Minerais, responsável por 1,15% do PIB em 1960 demonstra uma ligeira diminuição para 1,0% em 2015. Dos 31 elementos que o compõem 9 manifestam um aumento percentual na economia muito impulsionado pelo cimento como abordado anteriormente, tendo os restantes 22 elementos demonstrado um comportamento inverso, ou seja traduzindo-se num decréscimo da sua importância relativamente à riqueza gerada a nível mundial.

O indicador do esforço médio exigido individualmente na economia IEME para satisfazer uma determinada necessidade demonstrado por este conjunto de materiais é o que apresenta o maior desnível, ou seja, onde o desacoplamento é mais explícito. A soma dos elementos dos grupos divididos entre os que representam um aumento *per capita* face à riqueza gerada é composta somente por 12 materiais (15%) em contrapartida são 67 (85%), os que refletem uma diminuição do seu impacto na carteira das populações.

O grupo dos Semi-metais, não apresenta em qualquer dos 6 materiais analisados um aumento do esforço IEME despendido para satisfazer uma necessidade o que significa uma redução real dos custos associados.

Relativamente ao grupo dos Não metais, composto por 4 elementos e das Rochas & Pedras por 7, apresentam somente 1 material por grupo onde o esforço despendido IEME é superior ao dos rendimentos gerados, evidenciando os restantes 9 uma trajetória inversa.

Os grupos compostos por um maior número de materiais como o dos Metais e dos Minerais, constituídos por 31 elementos cada apresentam resultados muito similares. O primeiro (Metais) evidencia 6 materiais, ou seja 19,4% do grupo onde os custos associados aumentaram e mais de 80% onde se verifica o inverso. Por sua vez no grupo dos Minerais dos elementos (31) que os compõem 4 deles que representam menos de 13% do grupo descrevem um aumento do esforço despendido *per capita*, no entanto a grande maioria 27, ou seja mais de 87% apontam para uma diminuição dos custos associados. Em termos globais este indicador fornece uma tendência clara na diminuição do esforço exigido pelos materiais (GEME) assim como a média por indivíduo (IEME) despendido na sua utilização para satisfazer uma determinada necessidade.

2.5. O esforço exigido pelos elementos que se encontram sob efeito de materialização

O impacto dos materiais na economia (PIB) assim como a variação dos índices de consumo de alguns materiais para satisfazer uma determinada necessidade podem ser influenciados pela variação dos custos associados em função de um determinado rendimento

disponível. Pode funcionar como elemento impulsionador ou retardatário de um determinado desenvolvimento.

Vamos agora analisar separadamente os materiais que apresentaram um efeito de materialização no capítulo anterior cruzando-a com os dados obtidos acima sobre o esforço exigido na economia GEME e IEME, decorrentes do seu consumo. Um dos objetivos principais nesta abordagem comparativa reside na verificação entre os materiais a materializar, quais os que se encontram a desacoplar, ou seja, os que evidenciam uma dissociação do consumo face à riqueza gerada.

Recordando a análise comparativa por décadas nas *tabelas 6 até à 14 (pág. 26-29)* dos materiais no capítulo anterior que demonstram uma tendência para a materialização entre os 5 grupos composto por 79 materiais agora analisados perfazem um total de 22 elementos que se encontram nessa situação como se pode verificar na primeira coluna da *tabela 23*, correspondendo a 28% do total.

A segunda coluna com o indicador do esforço global dos materiais na economia GEME quantifica a evolução do impacto dos materiais no PIB (G), ou seja da sua importância na economia global.

Tabela 23. Esforço exigido global e per capita na economia dos 22 materiais sob efeito da materialização impulsionados com maior pendor pelo consumo ou pelo valor entre 1960 e 2015.

Materiais materializar		GEME		IEME	
Quantidade (n°)	22	15	7	10	12
Percentagem (%)	28%	68%	32%	45%	55%

Verifica-se que dos 22 casos analisados que se encontram a materializar, 15 deles (68%) integram a sub-coluna esquerda apresentando um acréscimo do seu peso na economia entre o ano de 1960 e o de 2015. Os restantes 7 materiais (32%) revelam uma diminuição, traduzindo-se numa redução muito substancial da sua importância relativa face à riqueza gerada.

O indicador IEME do esforço médio exigido *per capita* para satisfazer uma determinada necessidade demonstrado por este conjunto de materiais é o que apresenta o maior desnível entre os impulsionados pelo valor face ao consumo, consequência do aumento da população mundial, portanto, onde o desacoplamento é mais explícito. Os elementos que representam um aumento *per capita* face à riqueza gerada é composto somente por 10 materiais (45%), em contrapartida são 12 (55%), os que refletem uma diminuição do seu impacto na carteira das populações. Esta perspetiva animadora aponta para um desacoplamento ou dissociação da maioria dos materiais (55%) que se encontram a materializar.

2.5.1 Por grupo de materiais

A distribuição destes elementos sob o efeito da materialização verifica-se com maior incidência no grupo dos metais com 9 elementos como se pode verificar nas tabelas que se seguem, o dos Semi-metais e dos Não metais constituído por 1 elemento cada. Os Minerais por

sua vez são o segundo grupo que concentra maior variedade de materiais nessa situação, perfazendo 7 no total. As Rochas & Pedras por sua vez são formadas por 3 elementos.

Alguns materiais demonstram comportamentos comparativamente muito similares na evolução percentual do consumo entre 1960 e 2015, no entanto podem demonstrar consequências bastante diversificadas no esforço exigido GEME e IEME. É o caso do vanádio e do cobalto que apresentam uma taxa de evolução no consumo (M_t) muito similar com 1 444% e 1 473% respetivamente.

No entanto o seu impacto é bastante diferenciado como se pode verificar nos indicadores dos materiais em questão. Enquanto o cobalto apresenta valores positivos nos indicadores do esforço exigido GEME com 149% e IEME com 3%, o vanádio por sua vez evidencia valores negativos com -14% e -65%, respetivamente.

Entre os que se apresentam sob o efeito da materialização, o material que exhibe o maior índice de crescimentos no consumo (M_t) é indiscutivelmente o dos diamantes industriais com 20 888% entre 1960 e 2015. Não obstante os resultados obtidos nos indicadores do esforço GEME e IEME são negativos com -72% e -89%, respetivamente. Por outro lado um dos elementos que se encontra a materializar com menores índices no consumo (910%) como o iodo do grupo dos Não metais apresenta no entanto valores positivos quer no indicador GEME, assim como no IEME com 209% e 28%.

Outros casos há, como o do cimento do grupo dos Minerais e do alumínio dos Metais com taxas de crescimento (M_t) separadas por apenas 2 pontos percentuais com 1 183% e 1 181%, respetivamente. Os índices do esforço GEME e IEME são diferenciados consoante a material em questão, por exemplo enquanto o cimento apresenta valores positivos (25%) no primeiro indicador e negativos no segundo (-48%), o alumínio por sua vez apresenta índices negativos em ambos os indicadores de esforço com -20% e -67%.

Porque motivo este comportamento é tão diferenciado entre os índices do consumo (M_t) face aos dois indicadores do esforço GEME e IEME? É o que vamos analisar de seguida!

Tabela 24. Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.

Metais	M_t	GEME	IEME
Alumínio	1 181%	-20%	-67%
Cobalto	1 473%	149%	3%
Estrôncio	2 978%	361%	90%
Gálio	2 831%	-93%	-97%
Índio	1 024%	189%	45%
Magnésio	946%	14%	-53%
Nióbio	2 493%	199%	49%
Platina	1 091%	83%	-24%
Vanádio	1 444%	-14%	-65%

Tabela 25. Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos semi-metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.

Semi-metais	Mt	GEME	IEME
Boro	3 508%	104%	-16%

Tabela 26. Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos não metais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.

Não metais	Mt	GEME	IEME
Iodo	910%	209%	28%

Tabela 27. Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo dos minerais sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.

Minerais	Mt	GEME	IEME
Cimento	1 183%	25%	-48%
Feldspato	1 346%	205%	26%
Mica flocos	874%	92%	-21%
Rutilo	717%	-19%	-66%
Terras-raras	5 627%	312%	70%
Wollastonita	1 857%	157%	6%
Zircónio	1 078%	309%	69%

Tabela 28. Esforço global (GEME) e per capita (IEME) exigido na economia pelos elementos do grupo das rochas & pedras sob efeito da materialização entre 1960 e 2015.

Rochas & Pedras	Mt	GEME	IEME
Bauxite	962%	-42%	-76%
Diamantes (industriais)	20 888%	-72%	-89%
Granada (industrial)	14 222%	634%	203%
Pedras preciosas	930%	-98%	-99%

2.5.2. A importância do valor (V_s)

Estrôncio versus Gálio

É o caso do estrôncio e do gálio que demonstram um efeito de materialização apresentando as mais elevadas taxas de crescimento no consumo (M_t) no grupo dos metais com 2 978% e 2 831% respetivamente, revelando no entanto um impacto bastante diferenciado. Este comportamento deve-se essencialmente à variação do valor (V_s) que influencia decisivamente os resultados como se pode observar nos dois gráficos que se seguem.

Enquanto o estrôncio regista um aumento de 716% por tonelada métrica no período em questão passando dos 60,8 US\$ em 1960 para os 496 US\$ em 2015, o gálio por sua vez demonstra uma diminuição muito significativa de -88%, passando dos 2 600 000 US\$ em 1960 para 317 000 US\$.

A evolução descrita do valor (V_s) do estrôncio mantém-se estável até 1970 em cerca de 60 US\$ por tonelada onde inicia uma linha ascendente até ao ano 2000 atingindo os 876 US\$, sofrendo uma ligeira descida no ano de 2005 para os 793 US\$. No ano de 2010 atinge o valor

máximo do período em análise para 1 290 US\$, demonstrando posteriormente uma significativa queda no valor para 496 US\$ em 2015. A este facto não é alheio que o seu principal uso em tubos de raios catódicos para televisões a cores esteja em desuso provocado pela substituição tecnológica.

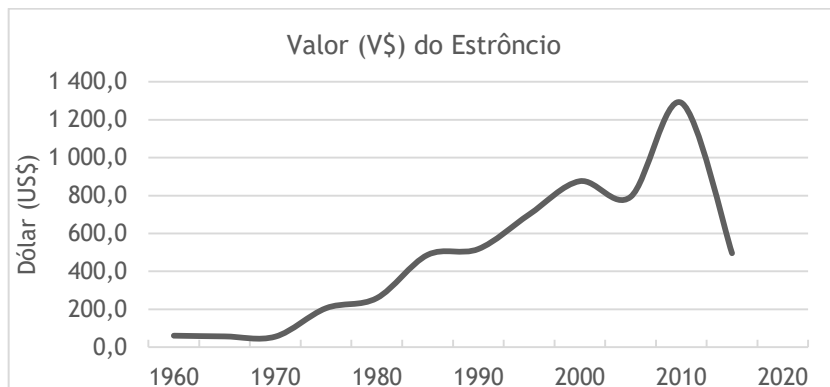


Gráfico 25. Evolução do valor (US\$) da tonelada métrica de estrôncio entre 1960 e 2015.

Além de preocupações manifestadas por diversas organizações entre as quais se destaca a da EPA - Agência de Proteção ambiental dos EUA (Daguillard, 2014) que anunciou uma determinação preliminar para regular este material na água potável. Esta iniciativa preventiva visa clarificar os efeitos da sua ingestão na saúde pública com especial relevo sobre crianças e adolescentes. Independentemente das decisões finais sobre o futuro na utilização do material ele apresenta ainda assim um valor em 2015 superior ao registado em 1960, no entanto em acelerado declínio.

O gálio primário é extraído como um subproduto do processamento de minérios da bauxite e zinco, muito utilizado na produção de circuitos integrados, cerca de 60% (Jaskula, 2017a), dispositivos optoeletrónicos, que incluem díodos laser (LEDs), diversos equipamentos industriais e de saúde assim como nas telecomunicações.

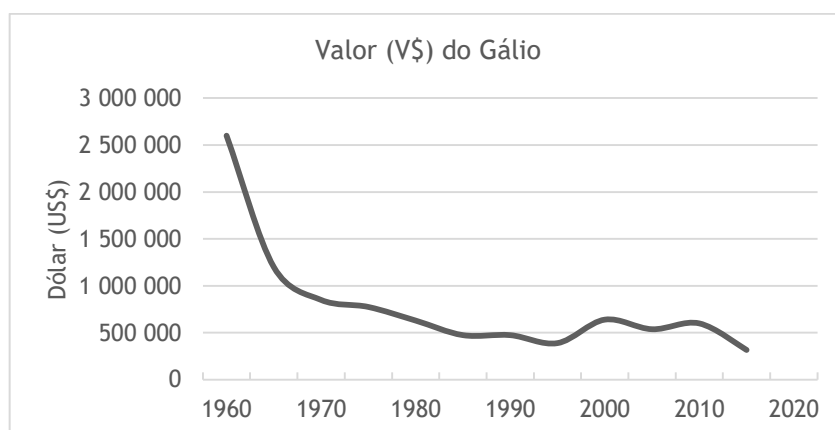


Gráfico 26. Evolução do valor (US\$) da tonelada métrica de gálio entre 1960 e 2015.

Aparentemente este acréscimo de consumo provocou uma descida constante do seu valor no período em questão em consequência de uma maior eficiência na produção assim como

de substitutos que concorrem em diversos tipos de utilizações. Como referido o valor deste material não tem parado de descer. Em 1960 o valor (V_s) da tonelada era de 2 600 000 US\$. A linha descendente registada posteriormente até 1995 é menos significativa atingindo os 390 000 US\$, tendo este material alcançado o valor (V_s) mínimo do período em análise no ano de 2015 com 317 000 US\$.

2.5.3. Evolução por material

Verificado a importância do fator do valor (V_s) na evolução do comportamento dos materiais, vamos agora demonstrar a evolução do esforço exigido individualmente (*per capita*) deste conjunto de matérias-primas (IEME). Como abordado anteriormente a seleção deste conjunto de materiais resulta de se encontrarem sob o efeito de materialização entre o ano de 1960 e o de 2015.

METAIS

- **Estrôncio**

Como se pode verificar o esforço médio despendido por pessoa face à riqueza gerada (IEME) de estrôncio no *gráfico 27* apresenta um comportamento inicial de descida (0,72) até ao ano de 1965 onde descreve uma recuperação posterior até ao ano 2000 onde atinge o valor mais elevado (10,02). Este aumento registado no indicador deve-se à conjugação quer do valor (V_s) da tonelada, quer do consumo (M_t). Posteriormente descreve uma redução muito substancial de 528% até ao ano de 2015, onde se fixa em 1,90. No entanto, originado pela diminuição do consumo com maior pendor na componente valor (V_s). Este comportamento como abordado anteriormente deve-se a uma mudança tecnológica assim como algumas restrições ambientais face aos possíveis riscos de saúde pública.

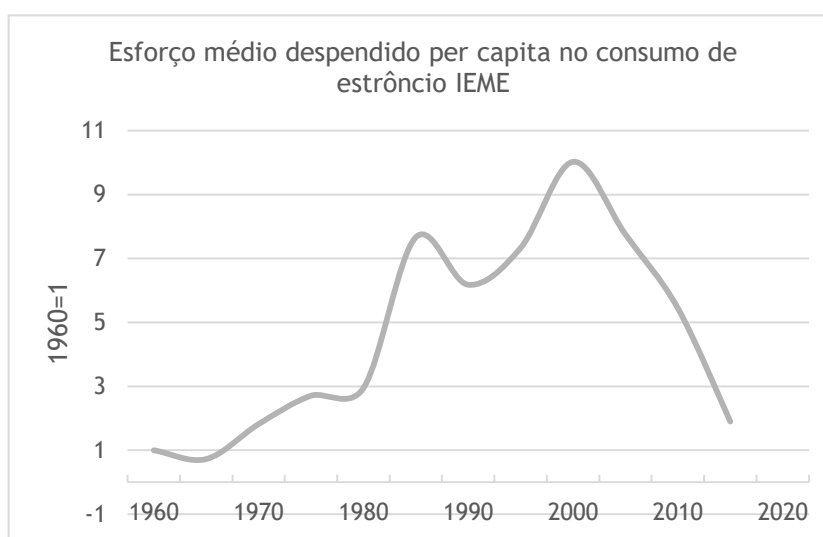


Gráfico 27. Evolução do esforço médio per capita no consumo de estrôncio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

- **Gálio**

O gálio demonstra uma descida muito acentuada entre o período em análise, passando em 1960 do 1 para 0,29 em 1965. O fator principal deste fenómeno deve-se essencialmente a uma diminuição abrupta em mais de 50% do valor (V\$) da tonelada. Em 1970 atinge os 0,12 descrevendo posteriormente uma descida menos abrupta até ao ano de 1975 com 0,04 estabilizando nos anos seguintes até 2015 onde evidencia 0,03. De salientar que no período em questão este material vê reduzido o seu esforço médio *per capita* exigido para satisfazer uma determinada necessidade (IEME), em cerca de 3 700%.

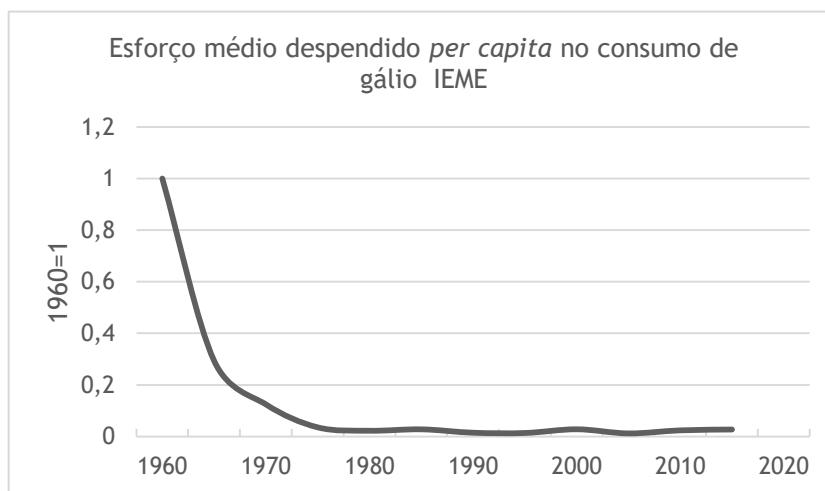


Gráfico 28. Evolução do esforço médio *per capita* no consumo de gálio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

- **Índio e Alumínio**

Vamos agora proceder a uma análise comparativa no esforço exigido IEME entre 2 materiais com comportamentos opostos. O índio apresenta um crescimento de 50% no indicador do esforço passando do 1 em 1960 para os cerca de 1,5 em 2015. Por sua vez o alumínio descreve uma evolução oposta passando do indicador 1 em 1960 para os 0,32 em 2015, traduzindo-se numa redução em mais de 300%. Este tipo de comportamento verifica-se em diversos outros materiais como é o caso dos já analisados estrôncio e gálio, como se pode constatar nos gráficos anteriores.

Neste caso o aumento é mais modesto do que o registado anteriormente não obstante ainda assim significativo. O alumínio denota um crescimento percentual do consumo (Mt) de 1 181% muito semelhante ao verificado pelo índio com 1 041% entre 1960 e 2015.

Relativamente ao valor (V\$) acentuam-se as diferenças passando no primeiro caso dos 573 US\$ por tonelada em 1960 para 1 940 US\$ em 2015, traduzindo-se numa variação de 239%. O índio por sua vez com um aumento percentual de 619% resultado do incremento verificado no valor da tonelada, passando dos 72 300 US\$ em 1960 para 520 000 US\$ em 2015.

Como se pode verificar na comparação dos dois gráficos este fator evidencia um aumento do esforço médio despendido *per capita* (IEME) relativamente à utilização do índio e do estrôncio e uma diminuição nos casos do alumínio e do gálio, entre 1960 e 2015.

O índio nos anos pós 1960 apresenta uma estabilização até 1970 reflexo de uma estabilização quer do consumo (M_t) quer do valor ($V_\$$). Demonstra uma ligeira descida em 1975 recuperando de seguida alcançando o valor indicativo registado em 1960.

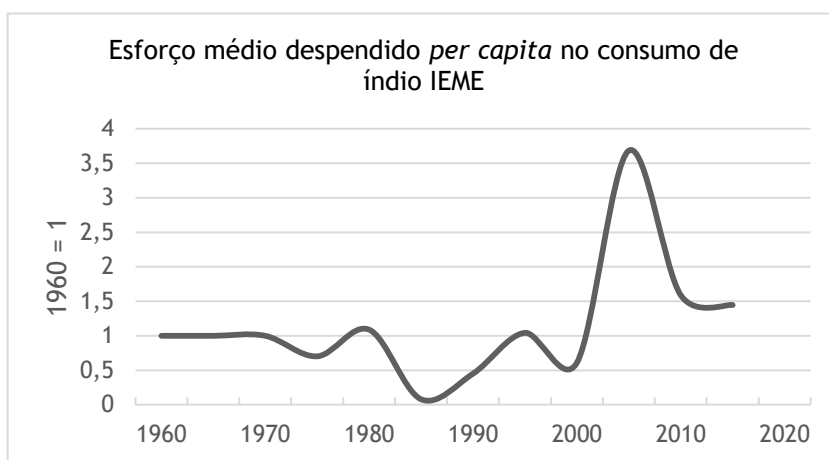


Gráfico 29. Evolução do esforço médio per capita no consumo de índio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Posteriormente verifica-se uma descida em cerca de 1 358% atingindo o indicador mínimo com 0,45 no ano de 1990. Fruto da diminuição simultânea quer do valor ($V_\$$) assim como do consumo (M_t). Até 2005 a ascensão é vertiginosa (excetuando o ano 2000 onde obtém 0,6), atingindo o valor máximo do indicador com 3,68. Este desenvolvimento é motivado essencialmente pelo aumento do valor ($V_\$$) da tonelada que quintuplica no período em questão. De 2005 até 2015 o índice apresenta uma redução considerável em mais de 50%, cifrando-se em 1,44 após estabilização.

Este elemento comumente recuperado do sulfeto de zinco e muito utilizado em revestimentos de películas finas sobretudo para fins elétricos, como condutor numa grande variedade de ecrã planos, frequentemente em ecrãs de cristal líquido (LCDs), em ligas de solda ou em compostos (Briskey, 2005). Os seus substitutos são muito diversificados e concorrem em diversos tipos de utilizações como o óxido de estanho e o antimónio assim como os nanotubos de carbono, entre outros em ecrãs flexíveis, tácteis e em células fotovoltaicas.

O alumínio é consumido em cerca de 40% no setor dos transportes em virtude das suas características mecânicas. Substitui gradualmente o aço, além do seu baixo peso que proporciona consumos mais reduzidos. O setor da embalagem representa cerca de 20% da sua utilização, seguido pela construção com 15%, e do material elétrico com 8%.

Este material regista uma curva descendente até 1980 onde recupera ligeiramente para 0,84 após o qual se verifica uma descida mais acentuada até 1990 para os 0,42. Verificando-se posteriormente uma (ligeira) diminuição gradual atingindo os 0,32 em 2015.

O comportamento deste material é gradual e constante, reflexo das poucas oscilações registadas em todo o período quer da componente do valor quer do consumo. No entanto a redução do indicador IEME resulta essencialmente dos índices graduais de crescimento ($V_\$$) e

(Mt), serem absorvidos pela conjugação das taxas de crescimento verificadas quer pela população, quer pela riqueza gerada.

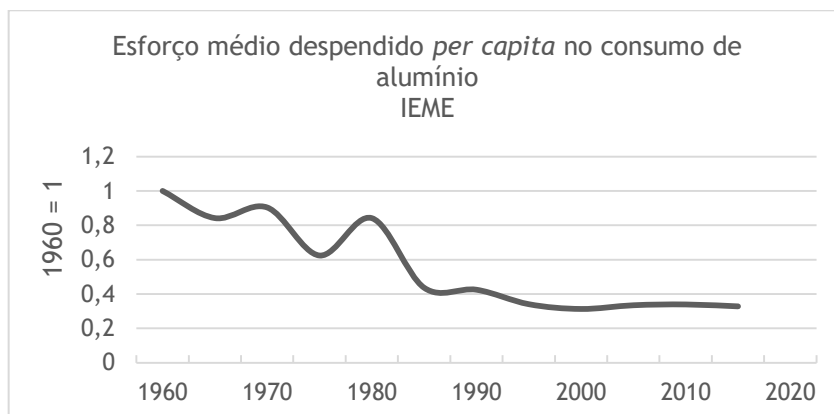


Gráfico 30. Evolução do esforço médio per capita no consumo de alumínio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

A evolução do esforço despendido na utilização deste material que se encontra a materializar (à semelhança do verificado pelo índio), demonstra claramente um desacoplamento ou uma dissociação do consumo, face à riqueza disponível.

- **Nióbio**

O nióbio é o terceiro material sob o efeito da materialização que apresenta uma maior taxa de crescimento no período em análise de 2 493%, passando das 2 480 t em 1960 para 64 300 t em 2015. Consumido principalmente como ferro-nióbio pela indústria siderúrgica em aços, em cerca de 80% e como ligas de nióbio, em cerca de 20% pela indústria aeroespacial. O Brasil é o principal produtor com 90% da produção mundial seguido pelo Canadá com 9%. É portanto um material bastante limitado em termos de abastecimento o que lhe confere um potencial geoestratégico no entanto os recursos existentes são mais que suficientes para fazer face às necessidades futuras. Os substitutos acarretam ou uma perda de desempenho ou então numa alternativa mais dispendiosa economicamente. É o caso do molibdénio e o vanádio como elementos em ligas de aço ou o tântalo e o titânio como elementos em ligas de aços inoxidáveis para utilizar em cerâmicas, assim como o tungsténio em aplicações onde são exigidas altas temperaturas. De salientar que a não inclusão do gráfico se deve à falta de dados em determinadas datas inviabilizando portanto a sua execução.

- **Cobalto**

Nesta abordagem, o cobalto resultou da soma da exploração mineira e de refinaria apresentando um crescimento no consumo de 1 473%, passando das 14 200 t em 1960 para as 223 400 t em 2015. O seu valor teve uma evolução menos acentuada nesse mesmo período, no entanto bastante significativa passando dos 3 390 US\$ para os 29 200 US\$. É um material muito

utilizado em superligas para turbinas de motores na aviação assim como numa variedade de aplicações onde sejam exigidas altas resistências ao desgaste. Recentemente a sua utilização cresceu em consequência da sua aplicação na indústria das baterias recargáveis (Wilburn, 2011). O Congo (Kinshasa) e a Zâmbia continuam a ser principal fonte de cobalto a nível mundial, fornecendo mais de metade da produção extraída de minas como subproduto do cobre ou do níquel. Estas condicionantes conferem a este material uma importância geoestratégica mundial bastante assinalável.

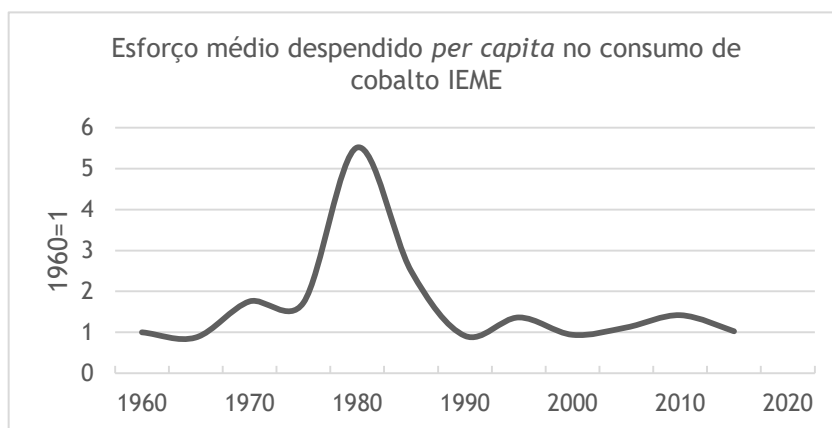


Gráfico 31. Evolução do esforço médio per capita no consumo de cobalto a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

A evolução do esforço médio despendido *per capita* no consumo deste material para satisfazer uma determinada necessidade (IEME), baixou em 1965 para os 0,87 atingindo em 1975 os 1,72. Posteriormente observa-se uma extraordinária ascensão até 1980 onde atinge o índice máximo com 5,51 consequência do valor (V\$) da tonelada sofrer um aumento em mais de 500% em apenas cinco anos. Seguindo-se uma descida vertiginosa registada até 1990 passando o indicador IEME para o valor de 0,94. Depois estabilizou até 2015 onde atinge 1,02, sensivelmente o mesmo esforço que era exigido em 1960.

- **Vanádio**

O vanádio é um material muito utilizado como agente de ligas de ferro e aço assim como em catalisadores para a produção de maleico anidrido e ácido sulfúrico. Os recursos mundiais excedem os 63 milhões de toneladas quando comparado ao consumo mundial anual em 2015 que era equivalente a 178 mil toneladas (Kelley *et al.*, 2017). Existe atualmente em depósitos de fosfato de rocha assim como em materiais como a bauxite, o carvão, o petróleo em bruto, o petróleo de xisto e em areias betuminosas. A concorrência deste material advém de alguns metais como o manganês, o molibdénio, o nióbio, o titânio assim como o tungsténio em ligas de aço. A platina e o níquel substituem compostos de vanádio em catalisadores e em alguns processos químicos. Atualmente ainda não existe nenhum substituto à altura na sua utilização em ligas de titânio para aplicações aeroespaciais.

O valor (V_s) sofreu um acréscimo de 202% no período em análise passando dos 5 430 US\$ em 1960 para 16 400 US\$ em 2015. O impulso sofrido teve maior pendor pelo aumento do consumo (Mt) registando no mesmo período um aumento percentual de 1 444%, passando por sua vez das 5 040 t para 77 800 t em 2015. Aparentemente estes crescimentos registados não foram suficientes para se registar um aumento do esforço médio *per capita* a nível global no consumo deste material (IEME) com se pode verificar no *gráfico 32*.

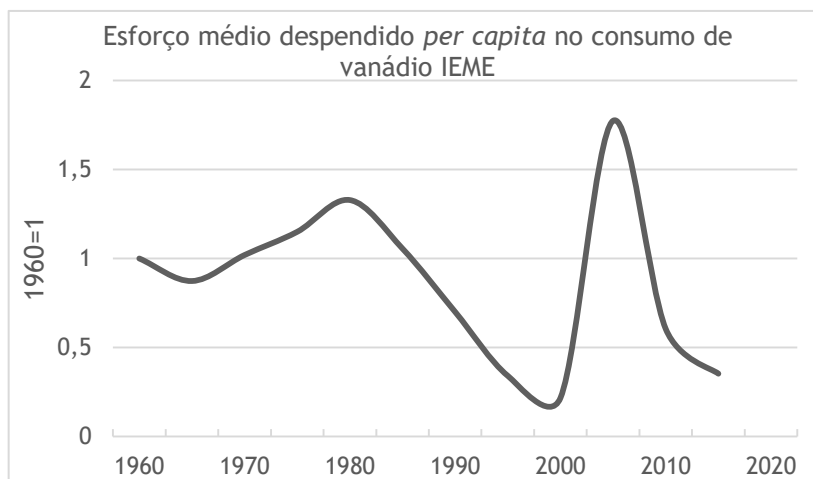


Gráfico 32. Evolução do esforço médio *per capita* no consumo de vanádio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Em 1965 regista-se uma ligeira diminuição para 0,87 enveredando posteriormente por uma ascensão até ao ano de 1980 onde o indicador IEME se cifra em 1,32. A partir de 1980 até ao ano 2000 regista uma considerável diminuição atingindo o índice mínimo com 0,22. Em 2005 assinala uma extraordinária subida para 1,77 onde atinge o valor máximo em consequência de um abrupto aumento do valor da tonelada (em 9x) passando dos 7 160 US\$ para os 64 100 US\$. A recente descida ainda que de forma abrupta atinge valores muito inferiores aos registados em 1960 passando para os 0,60 em 2010 e para os 0,35 em 2015, representando uma diminuição em cerca de -65% no período em questão.

- **Platina**

Outro dos materiais que apresenta um efeito de materialização é a platina onde evidencia um aumento no consumo (Mt) em 1 091%, passando das 39,7 t em 1960 para 471 t, em 2015. O valor (V_s) regista um crescimento de 739%, passando no mesmo período dos 1 610 000 US\$ para os 13 500 000 US\$. Embora intitulado de material, na realidade consiste num pequeno conglomerado, constituído obviamente pela platina assim como pelo paládio, pelo ródio, pelo ruténio, pelo irídio e pelo ósmio.

As aplicações são diversificadas tendo maior incidência em conversores catalíticos para diminuir as emissões prejudiciais do setor automóvel ou em catalisadores para a produção de produtos químicos a granel e na refinação do petróleo. Outra das áreas da sua utilização prende-se com aplicações eletrónicas como em discos rígidos para os computadores e portáteis,

em circuitos integrados assim como na indústria vidreira, na joalheria e em diversos equipamentos de laboratório. A platina, o ródio e o paládio são também utilizados como investimentos e produtos negociáveis em bolsa através de barras e moedas físicas.

Os recursos existentes são estimados em mais de cem milhões de quilogramas e as reservas situam-se em grande maioria na África do Sul (mais de 80%), Rússia e Canadá (Zientek e Loferski, 2014). O substituto principal da platina é o paládio em consequência de atingir custos inferiores sendo muito utilizado nos catalisadores dos motores. As utilizações de outros materiais em diversas aplicações na indústria revelam geralmente uma perda significativa de eficiência.

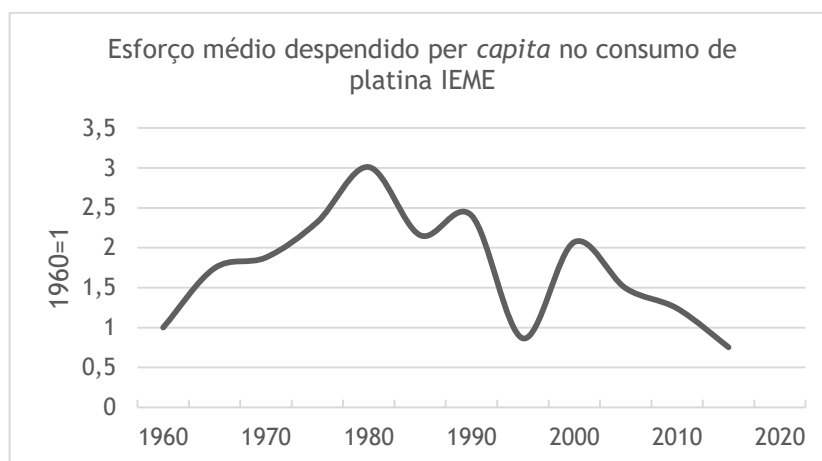


Gráfico 33. Evolução do esforço médio per capita no consumo de platina a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Este grupo de materiais tem demonstrado uma variação do esforço médio *per capita* IEME (gráfico 33) bastante irregular. Tendo aumentado significativamente entre 1960 até 1980 onde atinge o índice máximo do período em análise com 3,01, derivado ao valor (V_s) da tonelada que sofre um acréscimo de 671%. Segue-se uma diminuição até 1985 com 2,15 e uma posterior recuperação para 2,40 em 1990, a partir do qual se regista uma nova descida até 1995 atingindo pela primeira vez um esforço despendido por pessoa IEME inferior ao registado em 1960. O aumento do custo da tonelada foi o principal responsável pelo crescimento verificado entre o ano de 1995 e o de 2000, passando dos 7 200 000 US\$ para os 18 000 000 US\$ por tonelada respetivamente, traduzindo-se num acréscimo de 150%. Posteriormente a descida é ininterrupta até 2015 atingindo o índice mínimo registado em todo o período, cifrando-se nos 0,75, ou seja, para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este conjunto de materiais *per capita* é despendido um menor esforço IEME, traduzindo-se num desacoplamento comparativamente ao consumo.

- **Magnésio**

Dos 9 materiais do grupo dos metais que se encontram a materializar o magnésio é o que revela uma menor taxa de crescimento do consumo (Mt) com 946%, passando das 92 900 t

para 972 000 t entre 1960 e 2015. O valor (V_s) apresenta ainda crescimentos inferiores no mesmo período aos registados no consumo com 463%, passando dos 799 US\$ para 4 740 US\$.

A principal utilização deste metal é como agente redutor para a produção de titânio e outros metais como em ligas à base de alumínio. A diminuição de peso é fulcral como no setor automóvel onde este material ganha uma importância crescente em peças no intuito de cumprir os padrões de eficiência no consumo de combustível. O seu valor (V_s) tem sido um dos impeditivos a uma maior utilização deste metal comparativamente a possíveis concorrentes que cumprem sensivelmente as mesmas exigências, no entanto com um custo mais convidativo.

Os recursos a partir dos quais é possível obter o magnésio são praticamente inesgotáveis e bastante difundidos por todo o planeta (Kramer, 2001). Calcula-se que as salmouras de magnésio constituem um recurso praticamente infindáveis através da sua extração da água do mar ao longo de todas as zonas com orlas costeiras.

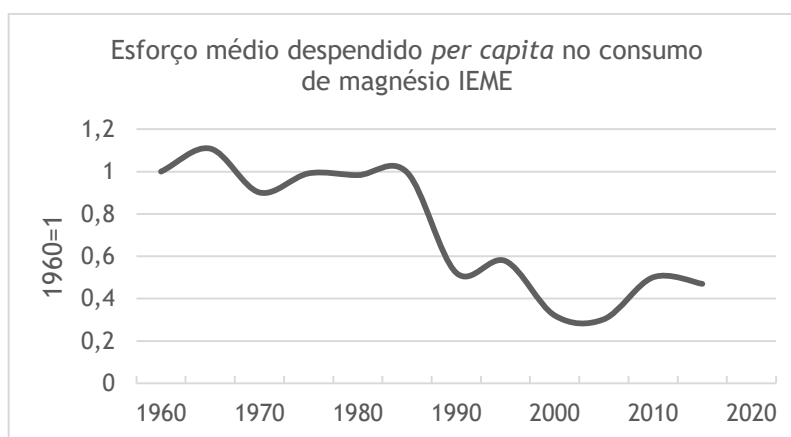


Gráfico 34. Evolução do esforço médio per capita no consumo de magnésio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

O gráfico 34 sobre o esforço despendido na utilização deste metal demonstra que entre 1960 e 1965 houve um ligeiro acréscimo para 1,10 onde atinge o índice IEME mais elevado do período em análise. Em seguida, verifica-se uma ligeira diminuição até 1985 com 0,99 após o qual descreve uma diminuição mais vincada para 0,30 em 2005 onde regista o índice mais baixo do período. Em 2010 volta a subir para os 0,50 registando depois uma ligeira diminuição para os 0,46 no ano de 2015. No cômputo geral este material revela uma diminuição substancial no período em análise do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade.

O grupo dos Metais como se pode verificar apresenta 9 materiais que se encontram a materializar do total de 33 no período entre 1960 e 2015 (tabela 24, pág.66), sendo que 4 (44%) deles revelam um aumento do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade e em sentido contrário encontram-se a maioria com 5 metais, cerca de 56% que apresentam uma diminuição, ou seja a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo (M_t) face a um determinado rendimento disponível. Nos metais que registam um maior crescimento no consumo conjugado com um aumento do esforço despendido no período em análise, portanto que não estão a desacoplar em 2015 encontram-se os seguintes materiais:

O estrôncio com um aumento de 2 978% revela um consumo (M_t) de 354 000 t em 2015, no entanto esforço despendido por pessoa registou uma acentuada descida entre o ano de 2000 onde atinge um índice de 10,02 para os 1,90 em 2015, representando uma variação percentual ou um decréscimo de -81% do esforço exigido IEME nos últimos 15 anos.

O nióbio ocupa a segunda posição com um crescimento de 2 493% e um consumo de 64 300 t em 2015, seguido pelo cobalto com 1 473% sendo consumidas 223 400 t nesse mesmo período. No entanto, observa-se que o esforço exigido *per capita* IEME estabilizou desde a década de 90 do século passado até ao ano de 2015 onde atinge um índice de 1,02 bem similar ao verificado em 1960.

O material que apresenta menor aumento no consumo (M_t) deste conjunto de materiais é o índio com um crescimento percentual de 1 024%, traduzindo-se em 769 t em 2015 e um esforço exigido de 1,44, como se pode constatar no *gráfico 29*, (pág.71) consequência de um aumento registado a partir do ano 2000 despoletado pelo valor (V_s) da tonelada quintuplica passando dos 188 mil US\$ para 946 mil US\$.

Este conjunto de metais embora tenham exigido um maior esforço por pessoa IEME o resultado da sua soma representa no consumo (M_t) em termos globais somente 642 469 t o que se traduz em cerca de 0,09 quilogramas e um custo associado de 1,03 US\$ *per capita*. Em termos comparativos um único metal dos que se encontram a desacoplar como o alumínio que por si só apresenta um consumo (M_t) de 57 000 000 t, cerca de 7,72 quilogramas por pessoa a nível global, o que representa cerca de 15,17 US\$ em 2015. Esta comparação fornece uma proporção do peso relativamente diminuto neste contexto global dos materiais que não se encontram a desacoplar.

Os restantes materiais que revelam uma diminuição do esforço despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME temos o já abordado alumínio que apresenta uma redução substancial tendo em consideração que 1960=1 e o ano de 2015= 0,32, resultando numa diminuição percentual muito significativa de cerca de -68% (*gráfico 30*, pág 76) nesse mesmo período em análise.

O gálio com um crescimento de 2 831% no consumo (M_t) passa das 16 t em 1960 para 469 t em 2015, no entanto o esforço exigido por pessoa IEME não tem parado de diminuir passando do índice em que 1960=1 para 2015=0,03, traduzindo-se numa redução de -97%.

O vanádio apresenta a segunda maior taxa de crescimento percentual no consumo (1 444%), atingindo as 5 040 t em 1960 para as 77 800 t passando o esforço IEME no mesmo período dos 1960=1 para os 0,3 em 2015, ou seja numa diminuição de -65%.

Relativamente à platina que apresenta uma taxa de crescimento de (1 091%), consequência do aumento no consumo das 39,7 t em 1960 para as 471 t em 2015, embora o esforço exigido IEME tenha diminuído entre 1960=1 para um índice em que 2015=0,75 traduz-se numa redução percentual de cerca de -25%.

Entre estes elementos, o magnésio é o que apresenta a menor taxa de crescimento (946%), resultado da variação observada das 92 900 t consumidas em 1960 para as 972 000 t em 2015. O esforço exigido por pessoa IEME no consumo nesse mesmo período deste material

regista à semelhança do verificado nos casos anteriores uma diminuição de cerca de -55%, passando do índice 1960=1 para o 2015=0,46.

SEMI-METAIS

- **Boro**

O grupo dos Semi-metais como se pode constatar (*tabela 25, pág.67*) evidencia um único material (o boro) que se encontra a materializar do total de 6 no período entre 1960 e 2015. Este elemento apresenta-se no entanto com uma diminuição do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME, ou seja a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo face a um determinado rendimento disponível. O boro apresenta um aumento no consumo (M_t) em 3 508%, passando das 260 000 t em 1960 para 9 380 000 t em 2015. O valor (V_s) regista um crescimento de 208%, passando no mesmo período dos 163 US\$ para os 502 US\$.

A indústria do vidro e da cerâmica são os maiores utilizadores deste material no entanto o seu consumo também pode ser observado mas em menor percentagem, como componente em abrasivos, em produtos de limpeza, em inseticidas, como isolante (fibra de vidro), assim como em semicondutores. Este conjunto de aplicações representa mais de três quartos do consumo global deste elemento.

Os recursos existentes ocorrem em depósitos de boratos em zonas associadas à atividade vulcânica e nos climas áridos como o deserto de Mojave nos EUA, no sul da Ásia assim como na América do Sul. Segundo a USGS (Crangle, 2017b) face aos níveis de consumo a previsão dos recursos existentes são mais que adequados para o futuro.

Os substitutos são diversificados consoante o tipo de utilização como por exemplo em detergentes, em produtos de isolamento assim como no sabão, pelo percarbonato de sódio que inclusivamente se apresenta com menor impacto ambiental. Os fosfatos de boro podem ser uma alternativa em esmaltes para a produção de vidro.

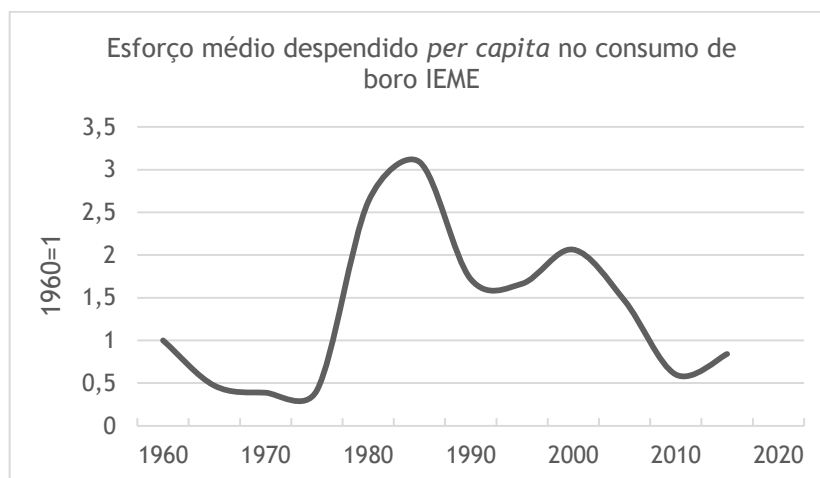


Gráfico 35. Evolução do esforço médio per capita no consumo de boro a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Como se pode verificar o esforço médio despendido *per capita* IEME no consumo de boro entre o ano de 1960 e o de 2015 (*gráfico 35*), apresenta um comportamento inicial de descida (0,38) até ao ano de 1970 onde atinge o valor mínimo do período em análise. Descreve uma recuperação bastante acentuada até ao ano de 1985 onde atinge o índice mais elevado (3,09), descrevendo posteriormente um decréscimo até ao ano de 1995 (1,66), seguido de uma ligeira recuperação no ano 2000 (2,06). A partir do ano 2010 verifica-se que os níveis de esforço despendido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME são inferiores aos verificados em 1960.

Este grupo como referido anteriormente, apresenta um único material (dos 6) que se encontra a materializar no período compreendido entre 1960 e 2015. Demonstrando em simultâneo uma diminuição do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade, ou seja a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo (Mt) face a um determinado rendimento disponível.

NÃO METAIS

- **Iodo**

O grupo dos Não metais como se pode constatar (*tabela 26, página 71*) apresenta à semelhança do verificado no grupo anterior um único material que se encontra a materializar (iodo) dos quatro analisados no período entre 1960 e 2015, revelando um aumento do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME.

O iodo apresenta um aumento no consumo (Mt) em 910%, passando das 3 030 t em 1960 para 30 600 t em 2015. O valor (V_s) regista um crescimento de 1 570%, passando no mesmo período dos 1 659 US\$ para os 27 700 US\$, sendo o fator principal ou impulsionador do aumento registado no esforço exigido por pessoa IEME no período em análise.

A utilização do iodo em consequência dos inúmeros intervenientes a jusante na produção de derivados (Schnebele, 2016) confunde na determinação precisa de um padrão no consumo final. Os compostos orgânicos incluem iodeto de etilo e metilo, didroiodeto de etilenodiamina e iodeto de povidina que representam a grande maioria do consumo doméstico deste elemento. O iodeto de potássio foi o principal composto inorgânico de iodo utilizado, além do ácido hidratado, do iodeto de potássio e do iodeto de sódio.

É um material indispensável e por ordem decrescente na área da saúde no contraste para o raios-x, em diversos produtos farmacêuticos assim como na sua aplicação em ecrãs de cristais líquidos (LCD) e iodóforos.

O abastecimento do iodo depende de três zonas principais, das minas de nitrato no deserto Chileno como a principal fatia em cerca de 66% do mercado global, seguido pelos campos de petróleo e gás no Japão e no noroeste de Oklahoma nos EUA. Outra das fontes além das mencionadas advém da água do mar que contém 0,06 partes por milhão de iodo correspondendo a aproximadamente 90 mil milhões de toneladas assim como das algas da família *Laminaria* em base seca que oferecem uma proporção de 0,45%, representando uma

fonte quase inesgotável a nível mundial, no entanto com custos mais elevados do que as primeiras proveniências mencionadas.

Os substitutos deste material podem ser utilizados, como o bromo e o cloro, em corantes de tintas embora não tão desejados, ainda que insubstituíveis no caso da alimentação animal.

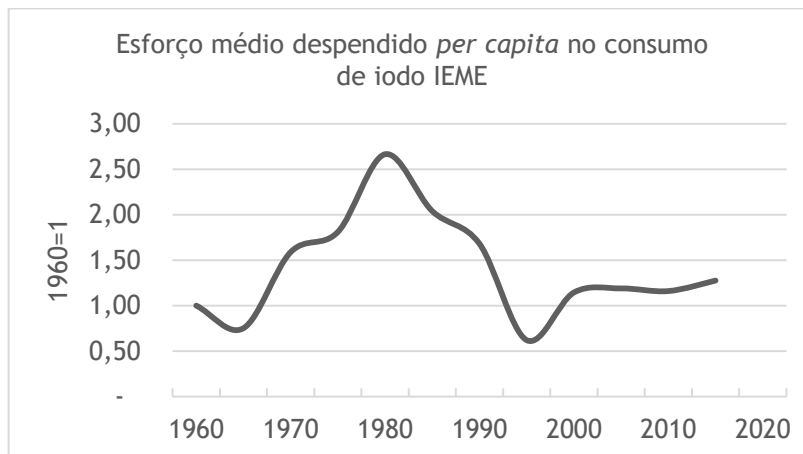


Gráfico 36. Evolução do esforço médio per capita no consumo de iodo a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

O gráfico 36 ilustra a utilização deste material entre 1960 e 1965 onde houve um ligeiro decréscimo para 0,75. Seguido de um aumento até 1980 onde atinge o índice máximo do período em questão com 2,66 derivado ao aumento do valor (V_s) da tonelada de 283%. Após o qual descreve uma diminuição mais vincada para 0,62 em 1995 onde regista o índice mais baixo do período em consequência da conjugação quer do valor, quer do consumo. Em 2010 volta a subir para os 1,19 estabilizando posteriormente com uma ligeira subida até ao ano de 2015. De salientar como referido anteriormente que este acréscimo do esforço exigido se deve em grande medida ao brusco aumento do valor (V_s) deste elemento que em 2005 correspondia a 13 400 US\$ (t) passando para os 27 700 US\$ em 2015 traduzindo-se no duplicar do seu custo em apenas 10 anos.

MINERAIS

O grupo dos Minerais como se pode corroborar apresenta 7 materiais que se encontram a materializar dos 32 analisados no período entre 1960 e 2015 (*tabela 27, página 71*), sendo que 4 deles revelam um aumento do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME. Em sentido contrário encontram-se 3 elementos que apresentam uma diminuição, ou seja a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo (Mt) face a um determinado poder de compra.

Os materiais apreentam comportamentos comparativamente muito similares na evolução percentual do consumo entre 1960 e 2015, demonstrando no entanto consequências bastante diversificadas no esforço exigido por pessoa. É o caso do cimento e do feldspato que indicam um efeito de materialização apresentando elevadas taxas de crescimento no consumo

(Mt) muito similares com 1 183% e 1 346% respetivamente, revelando no entanto um impacto bastante diferenciado na economia. Este comportamento deve-se essencialmente à variação do valor (V_s) que influencia decisivamente os resultados. Enquanto o cimento se encontra a desacoplar refletindo-se numa diminuição do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade, o feldspato regista um comportamento inverso repercutindo-se num aumento do esforço *per capita* IEME, como se pode observar nos *gráficos 37 e 38 (pág.82)*. De salientar que o cimento por si só representa mais de metade (53%) de todo o consumo (Mt) no grupo dos Minerais (7 materiais) sob o efeito da materialização, enquanto o feldspato fica-se somente pelos 0,54%. Esta diferença ainda se torna mais evidente se for considerada a sua importância na economia (PIB), nesse caso as percentagens do cimento representam cerca de 97% do grupo comparativamente ao feldspato que se fica somente pelos 0,53%.

- **Cimento**

O cimento é um material bastante abundante e geologicamente generalizado por todo o planeta tornando-se a sua escassez futura bastante improvável (Oss, 2017). As alternativas a este produto na construção embora com características heterogéneas são muito diversificadas como o alumínio, o alcatrão, os tijolos de barro, a fibra de vidro, o vidro, o gesso, o aço, a pedra e a madeira.

O esforço exigido por pessoa a nível global na utilização deste material IEME entre 1960 e 2015 foi sempre inferior ao verificado inicialmente, traduzindo-se num desacoplamento (*ver gráfico 37*). Entre o ano de 1960 (1,0) e o de 1990 verifica-se uma diminuição substancial onde atinge o menor índice registado (0,32) no período em questão. Posteriormente observa-se uma recuperação constante até 2015 onde atinge o índice 0,51. Embora com números abaixo do registado em 1960 reflète (como abordado no capítulo anterior) o aumento exponencial do consumo doméstico encetado pela China no virar do século, assim como do aumento do valor (V_s) em mais de 18% nos últimos 5 anos.

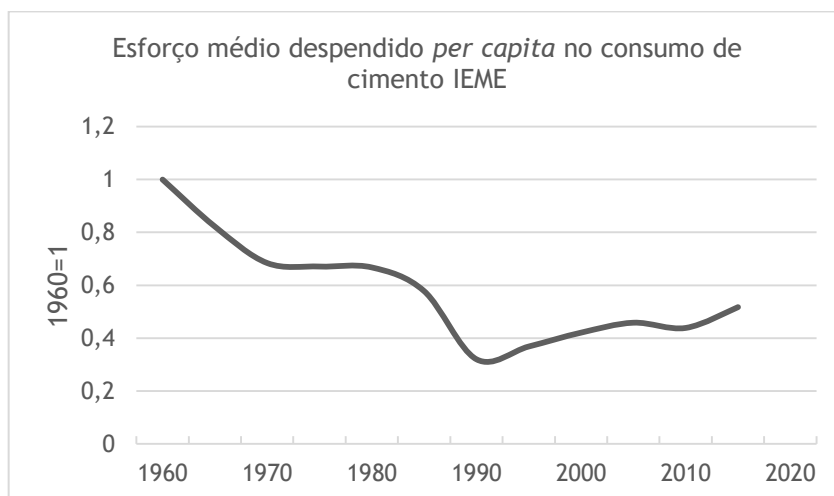


Gráfico 37. Evolução do esforço médio *per capita* no consumo de cimento a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

- **Feldspato**

O feldspato é um mineral bastante utilizado na construção civil. O seu impacto tem vindo a diminuir na Europa e nos EUA e a aumentar no continente Asiático especialmente na Índia e na China, no entanto nos últimos anos a uma taxa bastante inferior ao verificado anteriormente como se pode constatar no final da curva do *gráfico 38*. Outra das suas aplicações dá-se na indústria do vidro para a produção de recipientes e mais recentemente em painéis solares.

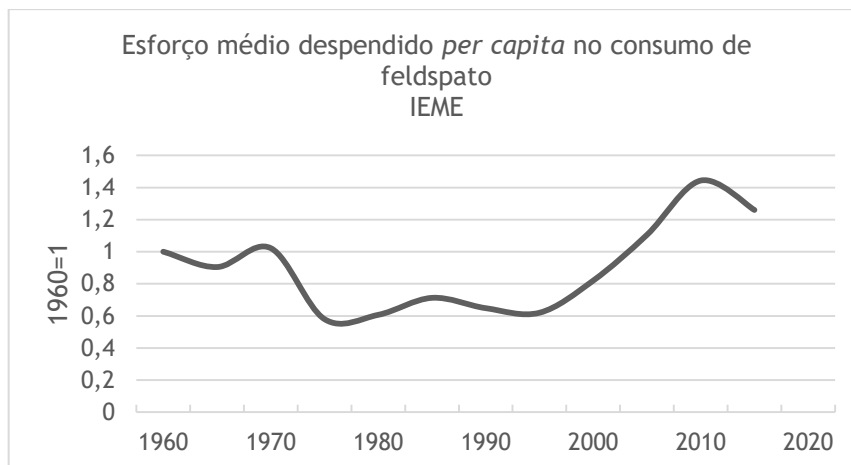


Gráfico 38. Evolução do esforço médio per capita no consumo de feldspato a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

A concorrência ou substitutos possíveis para este material advêm da sienite e da nefelina na indústria do vidro e para algumas cerâmicas, assim como por algumas argilas, por escória de ferro, por pirofilita ou inclusivamente por talco (Potter, 2000).

Os recursos existentes, ou melhor os recursos identificados de feldspato são mais que suficientes para fazer face às expectativas da procura do mercado a nível mundial.

O feldspato apresenta uma ligeira diminuição em 1965 para 0,9 representativo de um menor esforço *per capita* IEME para satisfazer uma necessidade anulada em 1970 onde o índice sobe para 1,02. Verifica-se posteriormente uma nova descida até ao ano de 1980 com 0,60 onde atinge o valor mínimo do período, seguido por um ligeiro aumento contrariado por uma nova descida até ao ano de 1995. Em 2010, o índice apresenta o valor máximo com 1,44 em consequência de um significativo aumento do valor (V_s) por tonelada passando 69 US\$ para 103,66 US\$ em 2015, traduzindo-se numa variação de 150% em apenas cinco anos. No entanto nos últimos 5 anos regista-se uma ligeira inflexão do indicador IEME para os 1,25.

- **Terras raras**

O material ou neste caso o conjunto de elementos que formam as terras raras (já abordado no capítulo anterior), apresenta neste caso as maiores taxas de crescimento no consumo (Mt) entre 1960 e 2015 com 5 627%. Embora este aumento seja considerável, a

percentagem que representa neste conjunto de 7 matérias cifra-se nos 0,003%, um valor bastante modesto.

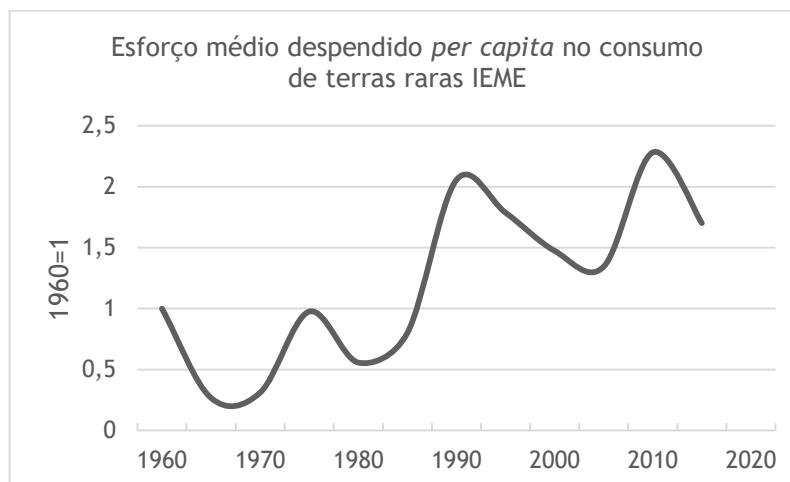


Gráfico 39. Evolução do esforço médio per capita no consumo de terras raras a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Os recursos mundiais existentes são relativamente abundantes na crosta terrestre no entanto, encontram-se em concentrações mínimas, ou seja, bastante dispersos comparativamente aos outros minerais. As maiores concentrações situam-se e por ordem de importância em Bastnasite na China e a segunda maior concentração encontra-se em Monazite nos EUA.

Os substitutos em aplicações para este conjunto de materiais são pouco abundantes e geralmente menos eficazes não atingindo geralmente os níveis de eficiência exigidos o que lhes confere neste contexto uma importância acrescida.

Este material apresenta uma evolução no esforço despendido por pessoa IEME (gráfico 39) muito irregular mas em dois períodos bastante distintos. O primeiro entre o ano de 1960 (1,0) e o de 1985 (0,80), embora manifeste umas oscilações o índice não supera o valor inicial. Posteriormente regista uma subida mais vincada até 1990 (2,05), seguido de uma nova diminuição até 2005 (1,34) e uma nova ascensão até 2010 onde atinge o índice máximo do período com 2,28. Esta última curva reflete alguns problemas de abastecimento ocorridos na China (a abordar posteriormente), desencadeando um aumento muito acentuado do valor (V_s) passando dos 6 595 US\$ por tonelada em 2005 para 20 000 US\$ em 2010, triplicando o seu valor em apenas cinco anos. Após a recuperação da extração os valores (V_s) diminuíram substancialmente, descrito pelo declive da linha até 2015, como expresso no gráfico. Aparentemente o excesso de oferta global deste material provocou o declínio dos preços de muitos compostos e metais raros em 2016 (Gambogi, 2017), dando assim seguimento a uma diminuição gradual do esforço médio exigido na utilização deste material para satisfazer uma necessidade.

- **Mica**

A mica (flocos) apresenta um crescimento no consumo (Mt) de 874% entre 1960 e 2015, no entanto e ainda assim, inferior ao registado pelo valor (V_s) que nesse mesmo período apresenta um crescimento de 977%, traduzindo-se num impulso global com maior impacto provocado pelo valor (V_s) do que pelo consumo (Mt).

Os recursos estão disponíveis em depósitos de argila, de granito, de pegmatite e xisto, sendo mais do que adequados para satisfazer a procura mundial num futuro previsível.

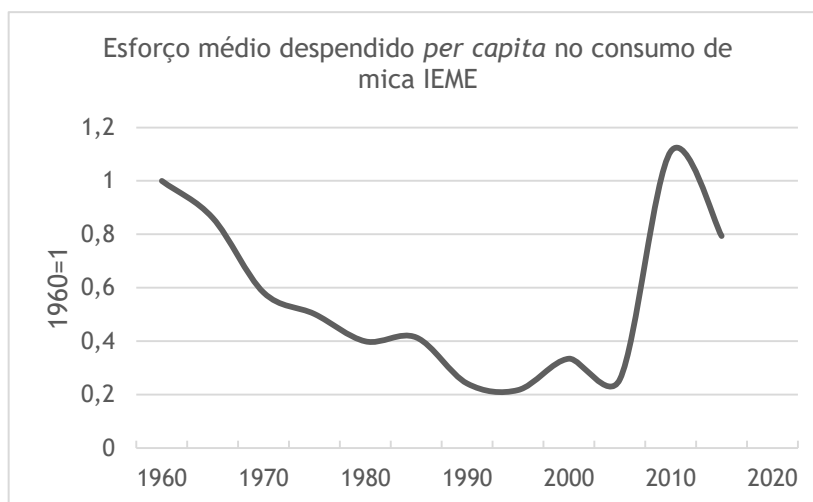


Gráfico 40. Evolução do esforço médio per capita no consumo de mica a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Existem diversos substitutos como a diatomite incluída no grupo das Rochas & Pedras, a perlite e a vermiculita do grupo dos Minerais, muito utilizado para enchimentos.

O esforço exigido por pessoa na utilização deste material IEME, demonstra um declive regular e ininterrupto até ao ano de 1995 onde regista o índice mais baixo no período em análise com 0,21. Verifica-se uma ligeira subida no ano de 2000 (0,33) anulada nos cinco anos seguintes para 0,25. O decréscimo no consumo até ao ano de 2005 resultou principalmente de um declínio na procura da maioria dos produtos que contêm este material com especial relevo para tintas e compostos para revestimentos de paredes assim como para papel ou de enchimento para reforçar plásticos (Hedrick, 2010).

Em 2010, o esforço exigido para satisfazer as necessidades aumenta drasticamente como se pode observar na última curva do *gráfico 40*, passando para 1,11 onde atinge o valor máximo ultrapassando o valor registado em 1960. De realçar que este acréscimo não reflete o aumento no consumo (Mt) mas essencialmente do valor (V_s) por tonelada que mais que duplicou entre o ano de 2005 e de 2010, passando dos 354 US\$ para os 731 US\$ em apenas cinco anos repercutindo os custos associados para o consumidor.

Posteriormente denota-se um regresso à normalidade com a diminuição do valor da tonelada para 616 US\$ em 2015, registando-se novamente um decréscimo para 0,79 já bem abaixo dos valores obtidos em 1960. O resultado é um desacoplamento do consumo deste material face à riqueza gerada.

- **Wollastonita**

A wollastonita é um mineral de alto brilho e brancura com baixa absorção de humidade principalmente utilizado em cerâmicas no intuito de melhorar os parâmetros de desempenho, em produtos sujeitos a fricção, assim como na produção de metais, tintas e plásticos.

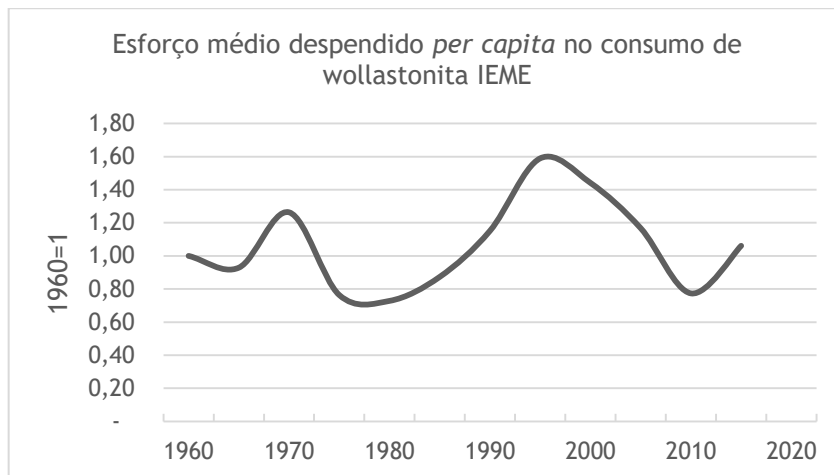


Gráfico 41. Evolução do esforço médio per capita no consumo de wollastonita a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Os substitutos são muito diversificados como a fibra de vidro, a fibra de aço e várias outras fibras orgânicas como o polietileno, o polipropileno entre outras. Outros minerais e rochas não fibrosas como o caulim, a mica, a barita, o gesso e o talco também competem na adição em plásticos conferindo-lhe uma maior resistência à flexão e estabilidade dimensional (Flanagan, 2017c).

Os recursos existentes são significativos e distribuem-se por todos os continentes desde a China, à Finlândia, à Índia, ao México, ao Quênia, ao Sudão, ao Tadjiquistão, ao Uzbequistão a Espanha, entre outros países.

A wollastonita regista um crescimento no consumo (M_t) considerável em cerca de 1 857% bem superior ao valor (V_s) que se fica pelos 617%, portanto o crescimento sofre neste caso, um maior contributo por parte do consumo do que da variação dos custos associados.

A evolução do esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade IEME, tem demonstrado algumas oscilações no período em questão (*gráfico 41*). Entre 1960 e 1965, uma ligeira diminuição para 0,93 é contrariada por uma subida mais íngreme até 1970 onde atinge os 1,26. Posteriormente verifica-se uma quebra até 1985 onde atinge o valor mais baixo com 0,73, seguido por uma ascensão até ao ano de 1995 onde atinge o valor máximo com 1,59. Esta última oscilação deve-se a um aumento no consumo (M_t) passando das 271 mil para as 514 mil toneladas em apenas cinco anos.

A curva descendente até 2010 reflete uma diminuição substancial no consumo, passando das cerca de 600 mil em 2005 para 514 mil toneladas em apenas cinco anos, curiosamente o mesmo valor que o registado no consumo (M_t) em 1995. A ligeira subida que se

observa no gráfico até 2015 resulta essencialmente do aumento do valor (V_s) por tonelada deste material passando para cerca de 215\$ representando um acréscimo de cerca de 34%.

- **Zircónio**

O zircónio (Zr) é um material que regista uma taxa de crescimento no esforço exigido IEME, entre 1960 e 2015 principalmente impulsionado pelo aumento do valor (V_s) com 1 793% do que pelo consumo que se restringe aos 1 078%.

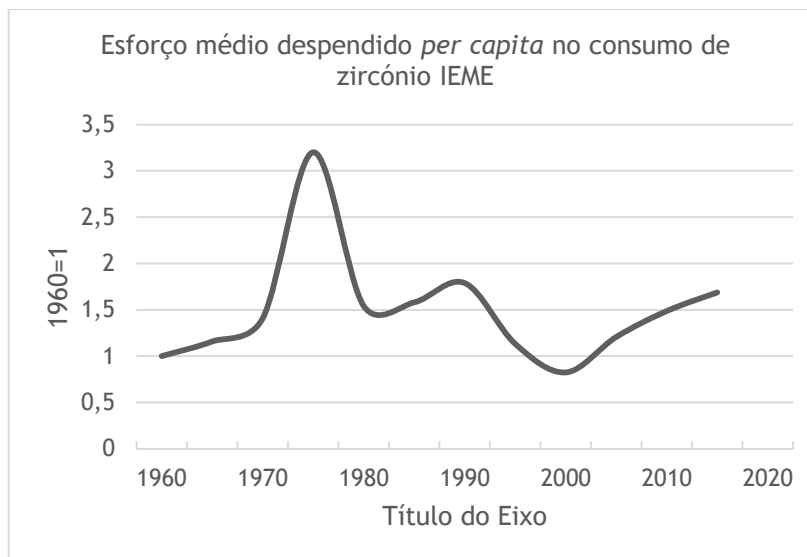


Gráfico 42. Evolução do esforço médio per capita no consumo de zircónio a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Este mineral é essencialmente utilizado como refratário ou opacificante, assim como agente em ligas, em virtude das suas qualidades de resistência à corrosão no entanto em menores quantidades (Bedinger, 2017).

A concorrência pode advir da chromite e da olivina em alguns tipos de utilizações para a fundição ou da dolomita em certos refratários para aplicações de alta temperatura. Por sua vez o nióbio, o aço inoxidável e o tântalo funcionam em certas aplicações nucleares mas de uma forma relativamente limitada.

É um dos elementos que se encontra a materializar no grupo dos Minerais apresentando um aumento do esforço exigido por pessoa IEME, no entanto só representa cerca de 0,037% no consumo (Mt) e 0,349% da soma do valor dos 7 minerais na economia global (PIB).

Entre o ano de 1960 e o de 1970 o indicador IEME regista uma ligeira subida passando para os 1,40. Seguido de uma muito pronunciada subida até ao ano de 1975 onde obtém o índice máximo com 3,19, reflexo do quase triplicar do valor (V_s) da tonelada passando dos 62 US\$ para os 173 US\$. Os próximos quinze anos até 1985 verifica-se uma diminuição com uma ligeira oscilação em 1980 para os 1,58. Posteriormente assiste-se a uma nova descida até ao ano 2000 para os 1,48 onde atinge o índice mínimo IEME (gráfico 42). O crescimento observado até ao ano de 2015 resulta quer do aumento do consumo (Mt) em cerca de 19% assim como do valor

(V_s) 15%, traduzindo-se num esforço crescente por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este material.

- **Rutilo**

O rutilo é um material muito importante em aplicações industriais e mais recentemente em tecnologias de laser assim como na soldadura para a elaboração dos elétrodos como protetor do material de base (Bedinger, 2017a).

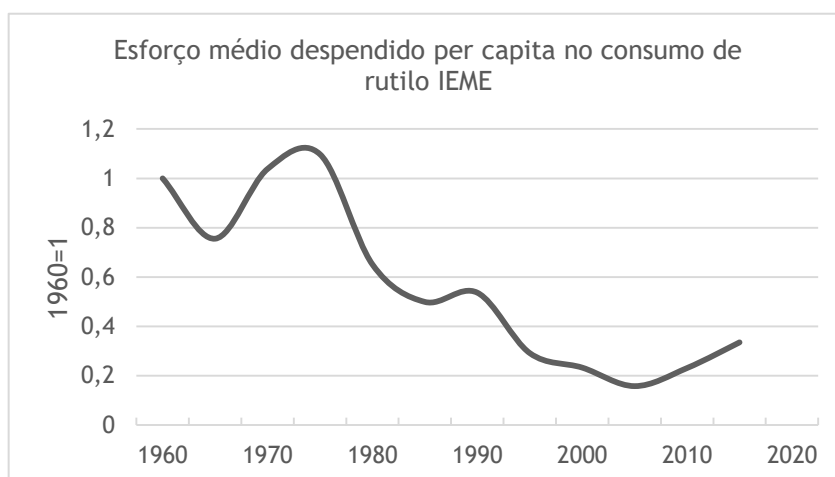


Gráfico 43. Evolução do esforço médio per capita no consumo de rutilo a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Este mineral apresenta um crescimento no consumo (Mt) em 717% e de 442% do valor (V_s) no entanto bem inferior ao registado pela economia (PIB) que entre 1960 e 2015 assistiu a um acréscimo de 5 352%, refletindo a curva descendente no gráfico 43.

O esforço por pessoa exigido no período em análise é bem evidente, praticamente descendente em todo o período. Entre 1960 e 1965 verifica-se uma diminuição do índice IEME para os 0,75 onde se inicia um aumento até 1975 onde atinge o valor máximo com 1,09, seguido de uma acentuada descida até 2005 onde obtém o índice mínimo com 0,15. Posteriormente até 2015 uma nova subida para os 0,33 despoletada pelo aumento do valor (V_s) da tonelada, passando dos 480 US\$ em 2010 para os 716 US\$ em 2015, representando um aumento de 49% nos cinco anos. No entanto o desacoplamento deste material é bem evidente traduzindo-se numa redução muito substancial de esforço exigido IEME.

O grupo dos Minerais como se verificou anteriormente apresentam do total de 32 materiais analisados 7 dos quais se encontram a materializar no período entre 1960 e 2015 (tabela 27, pág. 71), sendo que 4 deles revelam um aumento do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade e em sentido contrário encontram-se os restantes 3 que apresentam uma diminuição, ou seja a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo (Mt) face a um determinado rendimento disponível.

Os elementos que registam maior crescimento no consumo conjugado com um aumento do esforço despendido no período em análise, portanto que não estão a desacoplar encontram-se:

As terras raras com um aumento de 5 627% revelando um consumo (Mt) de 130 000 t em 2015, apresentam um esforço despendido por pessoa IEME superior ao registado em 1960 passando do índice 1,0 para 1,7 em 2015. No entanto este acréscimo deve-se a uma falha de fornecimento deste material por parte da China que provocou um aumento da valor (V_s) da tonelada métrica de 6 45 US\$ no ano 2000 para 20 000US\$ em 2010, ou seja que mais que triplicou em apenas 10 anos.

A wollastonita ocupa a segunda posição com um crescimento de 1 857% e um consumo de 720 000 t em 2015, vindo a descer desde 1990 onde atingiu 1,59 para os 0,77 registados em 2010 (*gráfico 41*) seguindo-se um ligeiro aumento e à semelhança do verificado com as terras raras originado por um aumento repentino do valor (V_s) da tonelada em cerca de 15% nos últimos cinco anos.

O feldspato com um crescimento no consumo (Mt) de 1 346% entre o ano de 1960 e o de 2015 sendo consumidas 22,7 milhões (t) em 2015 conjugadas com o acréscimo do valor (V_s) sobretudo a partir de 2000 provocou um crescimento do esforço exigido IEME nos últimos quinze anos em cerca de 45%.

O material que apresenta menor aumento no consumo (Mt) deste conjunto de materiais é o rutilo com um crescimento percentual de 717%, traduzindo-se em 850 000 toneladas métricas consumidas em 2015. Relativamente ao esforço exigido por pessoa IEME, este mineral demonstra uma diminuição abrupta em cerca de -70% comparativamente a 1960.

Este conjunto de 4 minerais agora analisados embora tenham exigido um maior esforço por pessoa IEME, o resultado da sua soma representa no consumo (Mt) em termos globais de somente 25 milhões (t) o que se traduz em cerca de 3,4 quilogramas anuais e um custo associado de 1,67 US\$ *per capita*. Em termos comparativos um único mineral dos que se encontram a desacoplar como o cimento que por si só com um consumo (Mt) de mais de 4 mil milhões (t), cerca de 552 quilogramas por pessoa a nível global, o que representa cerca de 58,23 US\$ em 2015. Esta comparação fornece uma proporção do peso relativamente diminuto neste contexto global dos materiais que não se encontram a desacoplar.

Os restantes materiais revelam uma diminuição do esforço despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME, além do já abordado cimento, embora registre um índice permanentemente inferior ao registado em 1960 (1,0). Observa-se no entanto um acréscimo a partir do final do milénio em consequência do aumento verificado no consumo (M_t) por parte da China não atingindo no entanto, os índices registados em 1960 (1,0), traduzindo-se neste últimos 55 anos numa diminuição em cerca de -48% do esforço exigido por pessoa IEME.

A mica (flocos) por sua vez apresenta um crescimento de (874%) no consumo (Mt) passando das 1 130 000 t em 1960 para 696 080 000 t em 2015, não demonstrando um aumento do esforço exigido IEME em todo o período de tempo excetuando em 2010 (1,11), em

consequência de um aumento do valor (V_s) da tonelada passando dos 354 US\$ em 2005 para 731 US\$ em 2010. Contudo, a curva decrescente verificada nos últimos cinco anos reflete o ajuste de preço posterior passando o índice do ano de 2015 para 0,79 IEME, bem abaixo de registado em 1960.

O rutilo apresenta a menor taxa de crescimento percentual no consumo (717%), atingindo as 850 000 t em 1960 para as 608 600 000 t em 2015. O esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade tem apresentado índices abaixo dos registados em 1960 (1,0) fixando-se nos 0,33 em 2015 após um ligeiro aumento provocado pela oscilação do valor (V_s) da tonelada em 49%, passando dos 480 US\$ em 2010 para os 716 US\$ registados em 2015.

ROCHAS & PEDRAS

O grupo das Rochas & Pedras como se pode verificar apresenta 4 materiais que se encontram a materializar no período entre 1960 e 2015 (*tabela 28*, Pág. 67), sendo que apenas 1 deles (25%) revela um aumento do esforço *per capita* despendido para satisfazer uma determinada necessidade IEME e em sentido contrário encontram-se a maioria com 3 materiais, ou seja 75% que apresentam uma diminuição, que se encontram a desacoplar ou a dissociar entre o crescimento do consumo (Mt) face a um determinado rendimento (PIB).

- **Diamantes industriais**

Dos materiais que apresentam maior crescimento no consumo (Mt) e a materializar entre 1960 e 2015, que veremos de seguida destacam-se os diamantes industriais com 20 888%, passando das 4,2 t em 1960, para as 881 t em 2015. O valor (V_s) regista um crescimento negativo de -93%, passando no mesmo período dos 19 700 000 US\$ para os 1 400 000 US\$ por tonelada.

O valor deste material não tem parado de descer em consequência, por um lado do aumento da eficiência tecnológica aumentando simultaneamente os lucros decorrentes desta atividade assim como da concorrência de novas explorações vindas da China e da Rússia que têm impulsionado os preços no sentido descendente. Os últimos anos têm proporcionado descobertas um pouco por todo o planeta mais concretamente em 35 países. Em 2016, foram inauguradas diversas minas entre elas duas no Canadá no Gahcho e a mina de Kué no noroeste que se segundo se prevê uma das maiores do mundo (Olson, 2017a), assim como a *Renard Mine* no Québec. O Lesoto também entrou na corrida com as minas de Liqhobong, de Mothae, de Kolo e de Lemphane.

É um material vulgarmente utilizado na indústria em diversas utilizações e no setor da construção essencialmente em serras de corte ou onde as suas características evidenciem vantagens comparativamente aos seus concorrentes. Os seus substitutos incluem os diamantes sintéticos já produzidos em pelo menos 15 países, os abrasivos como o nitreto de boro, o óxido de alumínio assim como carboneto de silício.

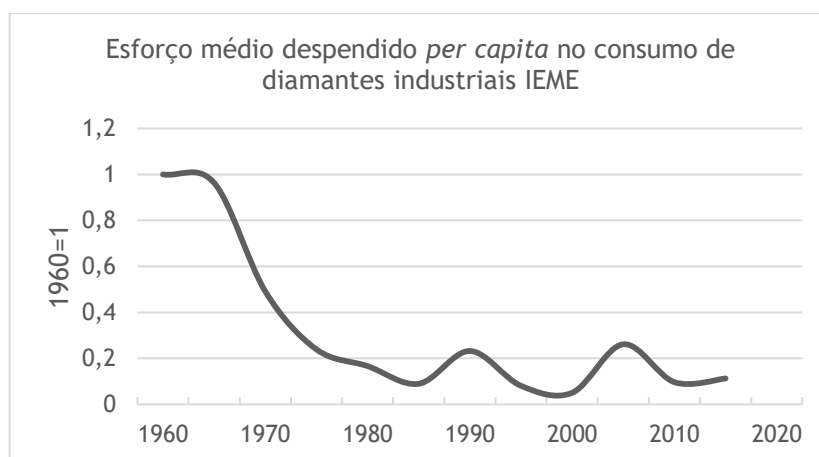


Gráfico 44. Evolução do esforço médio per capita no consumo de diamantes industriais a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

O esforço despendido entre 1960 e 2015 por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME utilizando este material não tem parado de descer (*gráfico 44*). Entre 1960 (1) e 1965 (0,96) verifica-se uma ligeira redução seguido por uma mais abrupta até ao ano 1990 (0,23). Esta curva descendente neste intervalo de tempo deve-se essencialmente à queda do valor (V_s) que entre 1960 sentiu uma redução muito substancial passando dos 19,7 milhões US\$ para os 7,13 milhões US\$ em 1990. Posteriormente verifica-se uma curva, tendo atingido o pico em 2005 (0,26) seguido de uma nova diminuição até 2015 onde atinge o índice de 0,11 e um valor (V_s) de 1,4 milhões US\$ por tonelada. No entanto, esta evolução é bem explícita da diminuição do esforço exigido *per capita* na utilização deste material IEME.

- **Granada industrial**

A granada industrial é o material que regista o segundo maior crescimento no período em análise com 14 222%, reflexo do aumento das 11 800 t consumidas em 1960 face às 1 690 000 t em 2015. O valor (V_s) por sua vez sofre um aumento percentual de 180%, passando dos 103 US\$ em 1960, para os 288 US\$ em 2015.

Este elemento é muito utilizado no corte através de jatos de água, como abrasivo, como componente para filtros de água e em diversos outros setores industriais como o da aviação, o do automóvel, o das cerâmicas e vidro assim como no setor digital em inúmeros componentes eletrónicos (Thomas, 2017).

Este mercado que envolve a granada é bastante competitivo a este facto não são alheios os recursos existentes que se distribuem um pouco por todo o planeta numa grande variedade de rochas. Os substitutos também são bastante competitivos em determinadas utilizações como o óxido de alumínio em jatos de água ou a *emery*, uma rocha constituída essencialmente por uma mistura inter cristalina de corindo, de magnetite, de hematita assim como de um agregado composto de esmeril muito utilizado para desgastar superfícies propícias na obtenção de pisos antiderrapantes. Os acabamentos em plásticos também utilizam concorrentes como os óxidos

de alumínio, a areia de quartzo e o carboneto de silício, inclusivamente em mobiliário de madeira e num leque muito diversificado de outras utilizações.

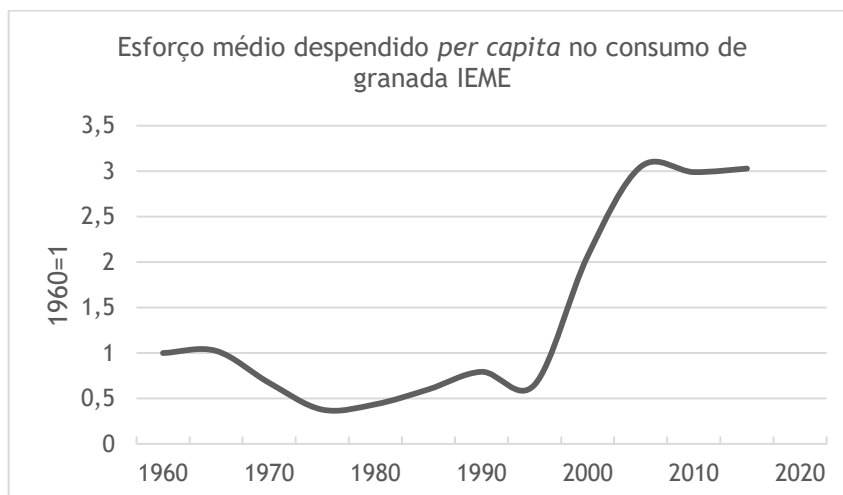


Gráfico 45. Evolução do esforço médio per capita no consumo de granada a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

O esforço exigido IEME neste período de tempo em análise (*gráfico 45*), evidenciando uma descida com umas ligeiras oscilações até ao ano de 1995 onde se regista um índice de 0,65, portanto bem inferior ao verificado em 1960 (1). A partir desta data a subida foi drástica até ao ano de 2005 onde atinge o maior índice com 3,05 consequência de um aumento do consumo (Mt) que mais que duplicou em apenas cinco anos. Posteriormente, assiste-se a uma estabilização com um ligeiro decréscimo para 3,02 em 2015.

- **Bauxite**

A bauxite evidencia o terceiro maior crescimento no grupo dos minerais entre 1960 e 2015 com 962%, passando das 27 600 000 t em 1960 para 293 000 000 t em 2015. Relativamente ao valor (V_{ξ}) regista-se um acréscimo de 196% no período em questão, fruto do aumento dos 8,79 US\$ em 1960 comparativamente aos 26,00 US\$ verificados em 2015.

Em 2006, a produção global registou um decréscimo de 11% em consequência da redução para 34 milhões de toneladas advindas da Malásia. Este acontecimento teve como origem o governo dessa região após legislação ambiental mais restritiva, assim como condicionada sob a condição da instalação de refinarias de alumina no país (Bray, 2017b).

Os recursos existentes estão distribuídos por todo o planeta mas o continente com maiores reservas calculadas situa-se em África com 32% do total mundial. Os substitutos para este material na produção de alumina são diversificados mas tecnicamente ou economicamente impraticáveis comercialmente, por enquanto. É o caso das argilas que oferecem soluções técnicas concorrenciais à semelhança da alunite ou de resíduos de carvão como fonte de alumina. Outras opções acarretam geralmente e comparativamente custos acrescidos como é o caso do carboneto de silício e da alumina-zircónio como abrasivos.

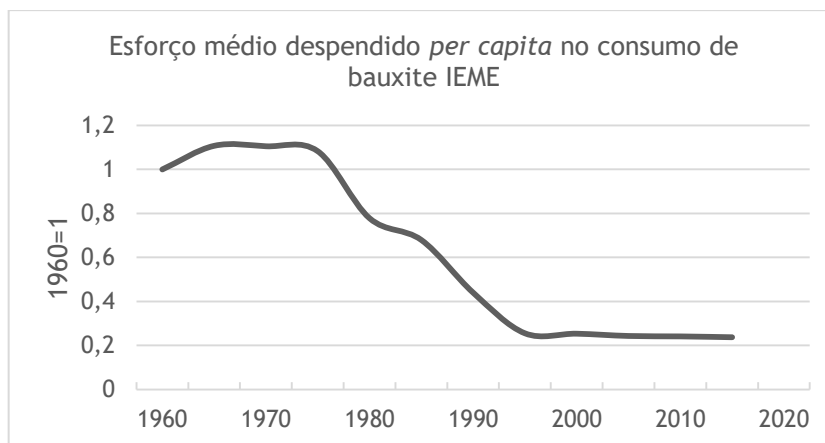


Gráfico 46. Evolução do esforço médio per capita no consumo de bauxite a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Relativamente ao esforço exigido por pessoa IEME, no período em análise (*gráfico 46*) verifica-se um ligeiro aumento entre 1960 e 1975 onde atinge o índice máximo com 1,10, seguido por uma queda acentuada até ao ano de 1995 onde atinge os 0,25. Posteriormente o índice parece estabilizar até ao ano de 2015 onde atinge o mínimo valor com 0,23. Outra matéria-prima que evidencia um profundo desacoplamento traduzindo-se numa diminuição em cerca de 80% do indicador IEME.

- **Pedras preciosas**

As pedras preciosas são o material que apresenta a menor taxa de crescimento dos quatro minerais do grupo das Rochas & Pedras com 930%. A destacar que este material tem um consumo (Mt) muito diminuto refletido nas 1,34 toneladas registadas em 1960 face às 13,8 toneladas em 2015.

Relativamente ao valor (V_s) e à semelhança do registado pelos diamantes observa-se uma redução muito substancial de -89%, passando dos 428 milhões US\$ por tonelada em 1960 para os 48,3 milhões US\$ em 2015. Esta diminuição do valor (V_s) deve-se a um aumento gradual da concorrência através de novas explorações de minas à semelhança das mais recentes iniciadas em 2016, entre elas duas situadas no Canadá nas minas de Gahcho Kué e na de Renard, além de outras quatro abertas no Lesoto nas minas de Liqhobong, de Mothae, de Kolo e de Lemphane (Olson, 2017c).

Os recursos existentes distribuem-se por áreas dispersas geograficamente, no entanto as principais reservas situam-se na África do Sul, na Austrália, no Canada e na Rússia.

A concorrência para este material pode advir dos plásticos, dos vidros e de diversos outros elementos como as pedras preciosas sintéticas que evidenciam propriedades muito similares nas características químicas e físicas ou ainda inclusivamente por gemas naturais. Outras substitutas que aparentemente se assemelham mas que pelo contrário diferem substancialmente nas características físicas e químicas.

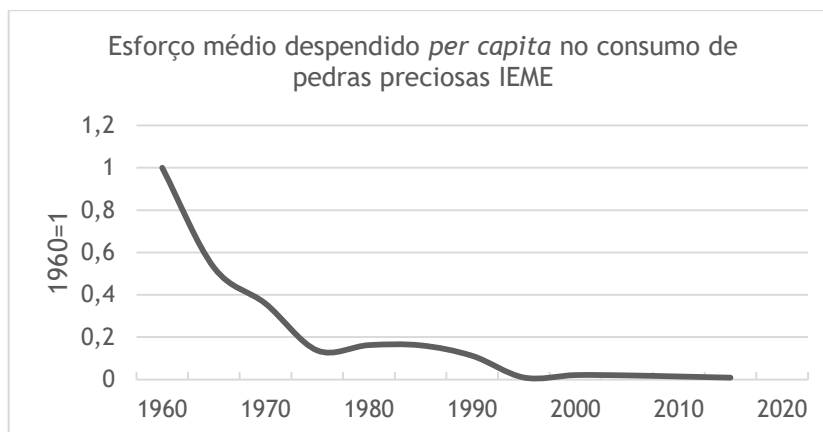


Gráfico 47. Evolução do esforço médio per capita no consumo de pedras preciosas a nível mundial entre o ano de 1960 e o de 2015 em que 1960=1.

Como se pode verificar no *gráfico 47*, o esforço exigido por pessoa na utilização deste material IEME, entre o ano de 1960 (1) e o de 1975 (0,13) é caracterizado por uma descida abrupta e ininterrupta. Em 1980, verifica-se um ligeiro acréscimo para 0,16 em consequência do pronunciado aumento no valor (V_5) da tonelada em cerca de 240% em apenas cinco anos, passando dos 222 milhões US\$ em 1975, para os 533 milhões US\$ em 1980. O índice mantém-se relativamente estável até 1985, após o qual se denota uma curva descendente até 1995 onde atinge os 0,009. Posteriormente denota-se uma estabilização, no entanto com uma ligeira diminuição em 2015, onde o índice atinge o valor mínimo com 0,008. Este caso à semelhança de outros exemplifica bem o desacoplamento ou a dissociação no consumo de materiais face a um determinado rendimento disponível.

O grupo das Rochas & Pedras como verificado anteriormente apresenta 4 materiais sob o efeito da materialização (*tabela 28, pág. 67*), no período compreendido entre 1960 e 2015.

O material que apresenta um aumento do esforço despendido no período em análise, portanto que não está a desacoplar está somente a granada com um aumento de 14 222% revelando um consumo (Mt) pouco significativo em 2015 de somente 354 000 t.

Por sua vez os materiais que se encontram a desacoplar (75%), são eles:

Os diamantes industriais com um aumento no consumo (Mt) de 20 888% (o maior do grupo), no entanto verifica-se uma diminuição muito significativa no esforço despendido por pessoa IEME para satisfazer uma necessidade em cerca -89%.

As pedras preciosas são o material que denota um menor um crescimento no consumo (Mt) de 930% entre o ano de 1960 e o de 2015 contudo no esforço por pessoa e à semelhança do verificado no caso anterior (diamantes industriais) verifica-se uma substancial redução em -99%.

Eventualmente a bauxite é o material mais significativo do grupo já que por si só representa no consumo (Mt), 99,4 % deste conjunto de 4 minerais e 76,1% do valor agregado ao PIB com 7 618 mil milhões US\$. Evidencia o terceiro maior crescimento no grupo dos minerais

entre 1960 e 2015 com 962%, passando das 27 600 000 t em 1960 para 293 000 000 t em 2015. A diminuição esforço em -76% no período em análise revela a consistência dos índices na diminuição do esforço IEME verificado na generalidade dos materiais abordados.

Estes factos exemplificam que na sua maioria dos casos se verifica o desacoplamento ou a dissociação no consumo médio de materiais por pessoa face a um determinado rendimento disponível (PIB) ao longo do período compreendido entre o ano de 1960 e o de 2015.

2.5.4. Comparativo do grau de importância relativa dos materiais por ordem decrescente

Observando as tabelas seguintes, verifica-se uma análise comparativa do grau de importância no escalonamento por ordem decrescente no primeiro caso (*tabela 29, pág. 95*) dos elementos a demonstrar percentualmente os maiores efeitos de materialização no consumo (Mt) na segunda coluna e no gráfico seguinte do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade entre o ano de 1960 e o de 2015, expressa na terceira coluna do esforço *per capita* IEME.

Os lugares cimeiros são ocupados pelos materiais que traduzem maiores índices relativos de importância comparativa dos dois casos e em sentido contrário, ou seja descendente surgem os elementos que apresentam menores valores.

No primeiro gráfico temos os diamantes (industriais) em lugar de destaque com os 20 888% e da granada (industrial) com 14 222%, 2 elementos do grupo das Rochas & Pedras que revelam cinco dígitos de crescimento percentual. Seguidos por um conjunto de materiais 14 materiais onde se verifica um crescimento percentual de 4 dígitos, no entanto só as terras raras (5 627%) apresentam valores superiores aos registados pelo PIB mundial que no mesmo período apresenta um crescimento de 5 352%. Os restantes 6 materiais evidenciam crescimentos muito inferiores com apenas 3 dígitos de crescimento.

No segundo gráfico (3ª coluna) a verde-claro temos a granada (industrial) em primeiro lugar com 203%, sendo o único material a apresentar percentualmente 3 dígitos de crescimento. O segundo lugar é ocupado pelo estrôncio com 90% seguido por um conjunto de 8 materiais que manifestam um crescimento percentual do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME. Os restantes 12 elementos que representam a maioria demonstrando taxas de crescimento negativas encontram-se assinaladas a vermelho.

Verifica-se que existe um conjunto de materiais coincidentes que se mantêm na primeira metade da tabela dos elementos analisados. É o caso da granada atinge o primeiro lugar na segunda tabela e o segundo lugar na primeira tabela. As terras raras ocupam a 3ª posição nos dois casos e o estrôncio no 5º lugar e no 2º lugar. Os restantes materiais que preenchem simultaneamente uma posição de maior destaque na parte cimeira das colunas temos, o nióbio, a wollastonite, o cobalto e o feldspato.

Em sentido contrário, ou seja na segunda metade das tabelas as relações são menos evidentes excetuando o rutilo que ocupa a 5ª posição a contar do fundo num dos casos e a última posição no outro. A bauxite por ventura será outro dos materiais onde se consegue

estabelecer alguma relação, já que ocupa a 6ª posição a contar do fundo na primeira tabela e a 4ª posição no outro caso. Estes dois materiais são porventura os únicos que revelam simultaneamente uma diminuição da importância relativa quer relativamente ao consumo (Mt) quer ao esforço *per capita* exigido IEME.

Tabela 29. Comparativo na evolução percentual do consumo (Mt) e do esforço médio despendido per capita a nível mundial (IEME) por ordem decrescente dos elementos que se encontram a materializar entre o ano de 1960 e o de 2015.

Materiais	Mt	IEME	Materiais	Mt	IEME
Diamantes (ind.)	20888%	-89%	Granada (ind.)	14222%	203%
Granada (ind.)	14222%	203%	Estrôncio	2978%	90%
Terras-raras	5627%	70%	Terras-raras	5627%	70%
Boro	3508%	-16%	Zircónio	1078%	69%
Estrôncio	2978%	90%	Nióbio	2493%	49%
Gálio	2831%	-97%	Índio	1024%	45%
Nióbio	2493%	49%	Iodo	910%	28%
Wollastonita	1857%	6%	Feldspato	1346%	26%
Cobalto	1473%	3%	Wollastonita	1857%	6%
Vanádio	1444%	-65%	Cobalto	1473%	3%
Feldspato	1346%	26%	Boro	3508%	-16%
Cimento	1183%	-48%	Mica flocos	874%	-21%
Alumínio	1181%	-67%	Platina	1091%	-24%
Platina	1091%	-24%	Cimento	1183%	-48%
Zircónio	1078%	69%	Magnésio	946%	-53%
Índio	1024%	45%	Vanádio	1444%	-65%
Bauxite	962%	-76%	Rutilo	717%	-66%
Magnésio	946%	-53%	Alumínio	1181%	-67%
Pedras preciosas	930%	-99%	Bauxite	962%	-76%
Iodo	910%	28%	Diamantes (ind.)	20888%	-89%
Mica flocos	874%	-21%	Gálio	2831%	-97%
Rutilo	717%	-66%	Pedras preciosas	930%	-99%

Como se pode verificar na tabela anterior quanto aos restantes materiais, aparentemente não se consegue estabelecer uma relação entre o crescimento no consumo (Mt) e o Esforço médio exigido *per capita* $\frac{(Mt \times V\$) / G}{P}$. Por exemplo o material que apresenta maior crescimento percentual (Mt) são os diamantes (industriais) que evidenciam uma redução -89% do esforço exigido ou seja, embora esteja a materializar apresenta uma diminuição do esforço exigido *per capita*. Em contrapartida a granada, o segundo elemento que apresenta maior percentagem no consumo (Mt), com 14 222% vê aumentar simultaneamente o esforço por pessoa ao invés dos diamantes (industriais) mencionados anteriormente. Pode-se verificar no entanto que dos materiais que se encontram a cor vermelha na 3ª coluna englobam o cimento

com -48% assim como o alumínio com -67%. Este destaque deve-se, quer ao seu peso quer à importância no consumo (Mt) verificado em 2015. Porém apresentam um esforço IEME bastante acentuado no período em análise.

2.5.5. Os 10 materiais com aumento no esforço médio exigido

Dos 26 materiais sob o efeito de materialização verificados no capítulo anterior foram analisados 22 casos, dos quais somente 10 elementos evidenciavam um crescimento no esforço médio despendido *per capita* para satisfazer uma determinada necessidade IEME (tabela 29). Tendo os restantes 12 elementos, ou seja a maioria evidenciado uma trajetória inversa resultando numa diminuição do esforço IEME (assinalados a cor vermelha).

Vamos proceder a uma análise com maior destaque para o conjunto de 10 materiais que registaram um aumento médio superior no esforço exigido *per capita* IEME, dividido pelos respetivos grupos.

No grupo dos Metais temos 4 materiais:

— O estrôncio embora evidencie um aumento no esforço médio *per capita* IEME entre 1960 e 2015, todavia regista uma substancial diminuição do seu uso a partir do ano 2000. Consequência como já abordado anteriormente de uma mudança tecnológica e respetiva descontinuidade da sua utilização em tubos de raios catódicos para televisores assim como de algumas restrições ambientais. Este efeito já tinha sido observado num estudo comparativo entre 1965 e 2011 pelo facto dos televisores registarem uma diminuição muito pronunciada da espessura, traduzindo-se assim numa redução substancial do volume assim como o peso deste tipo de equipamentos mencionado em “A expressão da desmaterialização através do design” (Vaz, 2012). Prevê-se que a evolução futura no consumo (M_t) continue em queda nos próximos anos tendo em consideração além do frisado anteriormente, que em 2005 eram consumidas 509 mil toneladas deste material vindo a sua cota descer para as 354 mil em 2015, ou seja uma redução em cerca de -30% em apenas 10 anos.

— O nióbio embora tenha registado um aumento no esforço médio por pessoa IEME, entre 1960 e 2015, afasta-se por enquanto a possibilidade da escassez deste material com a descoberta no Brasil de reservas consideráveis que já abastecem cerca de 90% das necessidades totais a nível mundial. Os recursos agora existentes são mais que suficientes para fazer face às necessidades projetadas (Papp, 2017b) levando a uma provável diminuição do valor (V_s) da tonelada com repercussões positivas no futuro na diminuição do esforço IEME exigido decorrente da utilização deste material.

— O índio é um material utilizado em ligas de solda e sobretudo na composição de revestimentos de película finas sobretudo para fins elétricos como condutor numa grande variedade de ecrãs planos, mas com maior incidência em ecrãs de cristal líquido (LCDs). Mais recentemente a sua utilização em ecrãs flexíveis e tácteis assim como em células fotovoltaicas provocou um aumento do valor (V_s) passando dos 188 mil US\$ por tonelada em 2000 para os 946

mil US\$ em 2005, ou seja quintuplicou o valor em apenas 5 anos. No entanto, nos últimos anos denota-se um decréscimo contínuo do seu valor para os 520 mil US\$ no ano de 2015, prevendo-se que regresse aos valores médios registados até ao ano 2000, mantendo-se ligeiramente abaixo dos índices médios IEME registados em 1960.

— Os índices do cobalto têm-se mantido a par dos registados em 1960 excetuando o acréscimo verificado do valor (V_s) entre 1975 e 1980 passando dos 9 280 US\$ para os 51 600 US\$ em apenas cinco anos vindo multiplicado por 5,56 vezes os custos associados. Porém a partir de 1990 os índices têm-se demonstrado estáveis ao nível do verificado em 1960, portanto não representando um acréscimo do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME.

No grupo dos Semi-metais não se regista nenhum caso onde se verifique um aumento do esforço *per capita* exigido.

No grupo dos Não metais temos 1 caso único.

— O iodo à semelhança do verificado com o nióbio e com o índio do grupo dos Metais este material sofre um aumento do valor (V_s) da tonelada passando dos 9 880 US\$ em 1995 para 27 700 US\$ em 2015. Refletindo-se num aumento dos índices de esforço exigido IEME, passando na mesma data dos 0,62 para os 1,28 no entanto estáveis desde do ano 2000.

No grupo dos Minerais temos 4 elementos:

— O feldspato exige um esforço IEME, acrescido por pessoa a partir do ano 2005 onde atinge o índice de 1,10, subindo posteriormente até 2010 para os 1,44, onde atinge o máximo em consequência de um significativo aumento do valor (V_s) por tonelada passando 69 US\$ para 103,66 US\$ em 2015, traduzindo-se numa variação de 150% em apenas cinco anos, descrevendo posteriormente uma curva descendente para 1,25 em 2015.

— As terras raras (como referido anteriormente) são compostas por 17 elementos. Este conjunto de elementos superam os índices de 1960 no ano de 1990, face a uma crescente procura mantendo esta tendência até 2010 onde atinge o índice máximo do período em análise com 2,28. Desce posteriormente para os 1,70 em 2015 face a uma estabilização do valor (V_s) e do consumo (Mt) representando uma diminuição do esforço médio exigido por pessoa IEME nos últimos cinco anos de -25%.

— A evolução do esforço exigido IEME pela wollastonita apresenta um índice máximo em 1995 com 1,59 descendo posteriormente em 2010 onde atinge os 0,77, portanto bem abaixo dos registados em 1960. A curva descendente até 2010 reflete uma diminuição substancial no consumo, passando das cerca de 600 mil toneladas em 2005 para 514 mil em apenas cinco anos. Até 2015 verifica-se um aumento para os 1,06 que emerge essencialmente do aumento do valor (V_s) por tonelada deste material passando para cerca de 215 US\$ representando um acréscimo de cerca de 34%, ficando sensivelmente com os índices verificados no início da análise.

— O zircónio é um material que regista uma taxa de crescimento no esforço exigido IEME entre 1960 e 2015 impulsionado principalmente pelo aumento do valor (V_s) com 1 793% do que pelo consumo que se restringe aos 1 078%. Após atingir no ano de 2000 um índice inferior ao registado em 1960 com 0,82 (-18%), regista um acréscimo até 2015 passando para os 1,68. Este facto não pode ser dissociado do aumento verificado no valor (V_s) da tonelada que passa dos 352 US\$ em 2000 para os 986 US\$ em 2015, ou seja um acréscimo de 280%.

No grupo das Rochas & Pedras à semelhança do verificado no grupo dos não metais apresenta apenas um material:

— A granada à semelhança de diversos materiais anteriormente analisados demonstra um crescimento muito significativo no virar do século onde os índices de esforço exigido IEME passando dos 0,65 bem inferiores ao verificado em 1960. Sofre no entanto um incremento para os 3,05 em 2010 estabilizando depois com uma ligeira diminuição para os 3,02 em 2015.

Esta análise permite observar que dos materiais que exigiram maior esforço por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade IEME no período em questão, tanto pode ser provocada pela variação no consumo (analisado no capítulo anterior), quer pela sua interceção com o valor (V_s) da tonelada métrica assim como do aumento da população ou ainda da economia (PIB).

O indicador da evolução do valor (V_s) foi em diversos casos um fator fundamental e preponderante nas flutuações verificadas inclusivamente neste conjunto de elementos que apresentam um efeito de materialização. É como por exemplo o caso do zircónio, como verificado anteriormente o qual apresenta um aumento muito significativo de 280% do valor (V_s) da tonelada nos últimos 15 anos. Assim como de diversos outros materiais como o feldspato, que além das terras raras também registou aumentos muito significativos mas neste caso derivado a uma interrupção nos abastecimentos por parte da China que provocaram o caos no mercado mais que triplicando o valor (V_s) em apenas 5 anos com as respetivas repercussões no esforço médio exigido. Outros há que denotam um aumento do valor (V_s) como o nióbio, face a uma possível escassez, no entanto já colmatada pela descoberta de novas reservas no Brasil que fornecem atualmente 90% das necessidades mundiais, levando a uma estabilização do mercado que se traduz numa provável diminuição muito significativa do esforço exigido *per capita* IEME nos próximos anos.

Alguns dos elementos como é o caso do estrôncio apresentam uma redução muito substancial do esforço exigido nos últimos 15 anos, provocados simultaneamente pela diminuição do valor (V_s) da tonelada quer pela diminuição do consumo (M_t). A esses factos não são alheias, algumas restrições ambientais tais como as verificadas nos EUA, mas eventualmente com maior pendor por questões de substituição tecnológica. Novos televisores excluem este material anteriormente indispensável, passando atualmente para uma situação de dispensável.

Ao inverso do verificado com o estrôncio temos o caso do índio em que a procura superou a oferta em consequência da sua crescente utilização em novas tecnologias (ecrãs, células fotovoltaicas, entre outros). Este material regista entre o ano 2000 e o de 2005 um quintuplicar do valor (V_s), estabilizando posteriormente em consequência do reajustar dos custos inerentes nos últimos 10 anos. Embora este material, á semelhança do verificado em diversos outros casos apresente crescimentos percentuais consideráveis, são pouco significativos em termos quantitativos já que representam no consumo (Mt) somente 769 toneladas em 2015, um valor bastante irrisório neste contexto geral.

De salientar que este tipo de abordagem permite visualizar comparativamente a evolução do esforço despendido *per capita* no uso de materiais IEME, no período em questão. De referir, que nos casos acima como no índio que representa um consumo anual em 2015 relativamente muito diminuto de 769 toneladas métricas comparativamente ao alumínio que por sua vez evidencia 57 500 000 toneladas. No intuito de esclarecer esta perspetiva proceder-se-à, a uma análise mais detalhada aos materiais mais importantes por grupo ou seja na perspetiva do seu esforço GEME no ano de 2015.

2.6. Falando de 2015

Para uma melhor visualização do esforço global dos materiais na economia GEME no ano de 2015 vamos analisar mais pormenorizadamente os elementos que se encontram a materializar e o respetivo consumo (Mt) em toneladas métricas comparativamente ao seu impacto escalonado por ordem crescente face à riqueza gerada no PIB (US\$).

Observa-se que a grande maioria dos materiais que exigem um maior esforço *per capita* exemplificados na terceira coluna GEME (tabela 30), a verde-claro são caracterizados simultaneamente por evidenciar um grande crescimento percentual entre o ano de 1960 e o de 2015, no entanto em diversas situações muito pouco expressivos relativamente ao consumo (Mt) em toneladas métricas. Os restantes a cor vermelha representam os elementos sob o efeito da materialização mas denotam no entanto uma redução do esforço exigido por pessoa face a um determinado rendimento IEME.

Nos cinco primeiros lugares temos 4 elementos a verde-claro (3ª coluna) que embora exijam um maior esforço por pessoa IEME, são dos que refletem menor importância comparativamente à riqueza global gerada GEME. É o caso da wollastonita e do estrôncio com 0,0002% e do índio e da granada (industrial) com 0,005% e 0,007, respetivamente. Por sua vez, no fundo tabela verifica-se precisamente o inverso, ou seja entre os 5 materiais com maior peso na economia GEME encontram-se 4 que no entanto denotam uma diminuição do esforço exigido *per capita* IEME.

A soma dos 22 materiais sob o efeito de materialização representam 0,783% do GEME em 2015, onde somente 10 elementos evidenciavam um crescimento no esforço médio despendido *per capita* para satisfazer uma determinada necessidade IEME. Utilizando este conjunto de materiais (a verde-claro), ou seja somente 3% deste grupo correspondem a 0,021% do PIB, tendo os restantes 12 elementos evidenciado uma trajetória inversa e a revelar uma

menor esforço GEME, representam a grande maioria com 97% do grupo, ou seja 0,762% da riqueza gerada a nível mundial (PIB).

Tabela 30. Consumo de materiais que se encontram a materializar comparativamente à percentagem por ordem crescente do esforço exigido GEME a nível mundial em 2015.

Materiais	Mt 2015	GEME
Gálio	469	0,0002%
Wollastonita	720 000	0,0002%
Estrôncio	354 000	0,0002%
Índio	769	0,0005%
Granada (industrial)	1 690 000	0,0007%
Rutilo	850 000	0,0008%
Pedras preciosas	13,80	0,0009%
Mica flocos	1 130 000	0,0009%
Iodo	30 600	0,0011%
Nióbio	64 300	0,0015%
Diamantes (industriais)	881	0,0017%
Vanádio	77 800	0,0017%
Zircónio	1 520 000	0,0020%
Terras-raras	130 000	0,0024%
Feldspato	22 700 000	0,0032%
Magnésio	972 000	0,0062%
Boro	9 380 000	0,0063%
Platina	471	0,0085%
Cobalto	223 400	0,0088%
Bauxite	293 000 000	0,0102%
Alumínio	57 500 000	0,1497%
Cimento	4 060 000 000	0,5749%

O grupo dos Não metais assim como o dos Semi-metais apresentam somente 1 elemento cada sob o efeito da materialização. Todavia, enquanto o boro exige um menor esforço *per capita* IEME e ocupa a 6ª posição entre os que têm maior impacto no GEME com um consumo de 1,27 Kg per capita, o iodo por sua vez exige um maior esforço médio IEME, no entanto ocupa somente a 14ª posição (abaixo do meio da tabela) com um consumo modesto por pessoa de 0,004 Kg.

O grupo dos Metais é o que apresenta maior número de elementos a materializar totalizando 9 dos quais 4 materiais exigem um maior esforço médio por pessoa IEME. É o caso do estrôncio na 3ª posição, do índio na 4ª e do níobio na 10ª posição ocupando a primeira metade da tabela representando, no entanto os materiais com menor impacto na economia GEME, com 0,0002%, com 0,0005% e com 0,0015%, respetivamente. Relativamente ao cobalto que ocupa a 4ª posição do final da tabela revela um impacto mais significativo no esforço IEME

com 0,0088%, no entanto com apenas 223 000 t consumidas (Mt), ou seja 0,03 Kg por pessoa no ano de 2015.

Os restantes elementos que compõem a maior parte do grupo com 5 materiais evidenciam um menor esforço médio *per capita* IEME e simultaneamente um maior impacto no indicador GEME. Temos o gálio que ocupa o primeiro lugar da tabela mas simultaneamente o elemento com menor impacto no esforço global GEME (0,0002%), com 469 000 t (2015), traduzindo-se num consumo *per capita* de 0,06 gramas. O vanádio que ocupa a segunda metade da tabela na 12ª posição com 0,0017% do esforço GEME e 64 300 t consumidas em 2015 representando um consumo por pessoa de 10 gramas. Por sua vez, o magnésio com 0,0062% no indicador GEME e 972 000 t consumidas refletem as 130 gramas por pessoa. Relativamente à platina embora ocupe a 5ª posição refletindo a sua importância na economia global GEME mas com um consumo mundial muito residual de 471 toneladas representando cerca de 0,06 gramas *per capita*. O alumínio sendo um dos elementos que evidencia um menor esforço *per capita* IEME entre 1960 e 2015 ocupa um lugar de destaque nesta perspetiva quer face ao seu peso no esforço global GEME com uns extraordinários 0,57%, quer no consumo, aliás o mais elevado deste grupo com 57,5 milhões t, traduzindo-se nuns consideráveis 7,81 Kg por pessoa.

O grupo das Rochas & Pedras é formado por 4 elementos que evidenciam um efeito de materialização no entanto só a granada (industrial) revela um crescimento do esforço médio despendido IEME. Ocupando a 5ª posição na tabela, portanto com pouco impacto na economia global GEME com 0,0007%, embora com um consumo considerável de 1,69 milhões de toneladas, ou seja 0,22 Kg/*per capita*. Os restantes 3 materiais apresentam uma redução do esforço IEME entre 1960 e 2015, sendo 2 integrados na primeira metade da tabela refletindo uma importância mais limitada sobre o indicador GEME. É o caso das pedras preciosas que ocupam a 7ª posição com 0,0009% e um consumo ainda menos significativo de 13,80 t em 2015 representando 0,1 gramas/*per capita*. Os diamantes (industriais) à semelhança do verificado com as pedras preciosas embora com um ligeiro acréscimo, representam 0,0017% no indicador GEME com 881 t consumidas, ou seja 0,12 gramas/*per capita*. A bauxite além de ser um dos materiais que exige menor esforço por pessoa IEME entre 1960 e 2015, o que se torna por si só num fator positivo é simultaneamente o elemento que revela maiores consumos com 293 milhões de toneladas correspondendo a mais de 39,8 Kg/*per capita* e um impacto considerável na economia global GEME ocupando a 3ª posição dos 22 casos analisados representando 0,01% do PIB mundial.

O grupo dos Minerais é constituído por 7 elementos que se encontram sob efeito da materialização, registando 4 casos onde o esforço percentual exigido por pessoa IEME aumentou tendo os restantes 3 demonstrado uma diminuição.

Nos materiais que apresentam um maior esforço e ocupam a primeira metade da tabela surge a wollastonita com um impacto de 0,002% na economia global GEME e um consumo de 720 000 t e 0,097 Kg/*per capita*. Seguido por ordem de importância segundo a tabela da 13ª à 15ª posição temos o zircónio com 0,002% do GEME, apresenta um consumo de 520 milhões de toneladas em 2015, ou seja 206 gramas/*per capita*. As terras raras com 0,0024 do GEME e um consumo de 130 000 t, com cerca de 17,6 gramas/*per capita*. O feldspato é o elemento mais

significativo desde subgrupo com 0,0032% do GEME, registando um consumo de 22,7 milhões de toneladas e o correspondente a 3,08 Kg/*per capita*.

Todavia, bem inferiores aos valores alcançados pelo cimento que neste caso e ao invés do feldspato além ser um dos elementos que tem evidenciado uma diminuição do esforço exigido por pessoa IEME conjugado simultaneamente como o mais significativo dos 22 casos analisados. Representa 0,57 % do esforço GEME, com um consumo de 4,06 mil milhões de toneladas que se traduzem nuns significativos 551,9 Kg por indivíduo bem elucidativo da importância deste material. Os restantes elementos são a mica (flocos) com 0,0009% no GEME e um consumo de 1,13 milhões de toneladas, ou seja 0,15 Kg/*per capita* e o rutilo representando 0,0008% no GEME e um consumo de 850 000 t ou 0,11 kg/*per capita*.

A soma dos 4 elementos que apresentam um crescimento do esforço global na economia GEME revelam cerca de 0,61% deste conjunto de materiais do grupo dos Minerais em contrapartida os restantes 3 que viram diminuir o esforço global dos materiais na economia GEME representam 99,39% do grupo.

Nota conclusiva

Esta análise aborda o esforço médio exigido por pessoa (IEME) para satisfazer uma determinada necessidade no consumo global de 79 materiais fundamentais para a indústria assim como do esforço global e sua riqueza gerada na economia global (GEME) entre 1960 e 2015. Estão subdivididos em 5 grupos principais que apresentaram a maior média de crescimento verificado no capítulo anterior. Representam em 1960 cerca de um quarto (26%) do consumo (M_t) dos materiais analisados passando para mais de metade (54,7%) no ano de 2015, totalizando $1,13 \times 10^{10}$ de toneladas métricas, assim como fornecem o maior número de materiais sob o efeito da materialização registado no capítulo anterior entre 1960 e 2015. Recordando, dos 26 identificados foram abordados 22, cerca de 85%. Neste caso, excluindo os plásticos, o aglomerado de madeira, as fibras sintéticas e o papel reciclado, este último que se torna inclusivamente benéfico para o meio ambiente.

Embora o valor total do consumo deste conjunto de materiais tenha aumentado a nível global entre 1960 de $8,97 \times 10^{10}$ (30 US\$ *per capita*) para $2,72 \times 10^{12}$ (370 US\$ *per capita*) em 2015, representa uma redução substancial do esforço global dos materiais na economia (IEME) passando de 6,56% para 3,65%, respetivamente. Tal facto traduz-se numa diminuição em cerca de -45% do esforço *per capita* para satisfazer uma necessidade deste conjunto de materiais, analisados no período em questão.

A variação percentual do valor dos grupos de materiais comparativamente à riqueza gerada por indivíduo entre 1960 e 2015 revela uma diminuição em cerca de -75%, representando uma redução muito substancial do esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade (IEME) utilizando este conjunto de materiais. Entre os que apresentam maior diminuição encontram-se os Não metais, as Rochas & Pedras e os Metais com -89%, -85% e -80%, respetivamente. Das taxas com pendor negativo mas menos acentuadas temos os Semi-metais, e os Minerais com -60% e -63%, respetivamente.

O impacto dos materiais na economia e no meio ambiente depende em certa medida do desacoplamento da produção e do consumo de materiais assim como da riqueza gerada (PIB) (UNEP, 2011). Fatores indissociáveis permitiram no entanto determinar a sua influência no grau de importância relativa dos elementos demonstrando que dos 79 materiais analisados, 29 deles (37%) foram impulsionados com maior pendor pelo consumo (M_t) e a grande maioria 50 (63%) pelos custos associados (V_s).

Procedeu-se posteriormente a uma análise dos 22 elementos que se encontram sob efeito da materialização (Consultar capítulo anterior) dos quais somente 10 materiais (45%) apresentam um aumento do esforço médio exigido *per capita* face à riqueza gerada (IEME). Em contrapartida são 12 (55%), os que refletem uma diminuição do seu impacto na carteira das populações. Esta perspetiva animadora aponta para um desacoplamento ou dissociação da maioria dos materiais que se encontram a materializar.

Os 22 elementos sob o efeito de materialização têm um impacto de 0,783% no GEME em 2015 e representam um consumo de 605 Kg/*per capita*. Sendo que somente 10 desses

elementos evidenciam um crescimento no esforço médio despendido *per capita* para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este conjunto de materiais (IEME). Representando somente 3% deste grupo ou 0,021% do PIB com um consumo médio de 3,7 Kg/*per capita*, incluindo o estrôncio que revela uma acelerada diminuição nos últimos 15 anos em consequência da substituição tecnológica verificada nos televisores de tubo catódico.

Os restantes 12 elementos evidenciam uma trajetória inversa e revelam um menor esforço (IEME), no entanto representam a grande maioria do grupo (97%), ou seja 0,762% da riqueza gerada a nível mundial GEME e um consumo de 601,3 Kg/*per capita*. Estes dados são bem elucidativos da importância relativa do comportamento de desacoplamento ou dissociação deste conjunto de materiais na economia.

Capítulo III

Os Materiais e o Meio

Introdução

As matérias-primas necessárias para a fabricação de produtos ou inovações que satisfaçam a atual sociedade são extraídas da natureza e tratadas pelas indústrias com alto impacto humano, social e ambiental. Embora as tensões dos recursos tenham diminuído nos últimos anos, o aparecimento de novas tecnologias prometem perturbar de inúmeras formas o mercado das matérias-primas (U.S. Geological Survey, 2017).

Em consequência do metabolismo verificado no primeiro capítulo relativamente a um conjunto de 114 materiais fundamentais para a indústria e constatado o seu impacto a nível global, este capítulo não tem a pretensão de realizar uma análise exaustiva das características ou classificação dos materiais. Contudo, pretende identificar determinados fatores no intuito de fazer uma apreciação global mais aprimorada por grupo e por elemento. Através da avaliação do risco de oferta subdividido em termos de abundância, mediana e material raro ou escasso. (Graedal, 2015). Da mesma forma, identificar a sua importância geoestratégica no intuito de circunscrever qual o grau com que os materiais se revestem, categorizando-os segundo determinados critérios de toxicidade, tais como ecotóxicos, mutagénicos, infecciosos, cancerígenos, designando a alta toxicidade, a baixa ou inerte. Na vulnerabilidade à restrição de fornecimento ou escassez Graedal *et al.* (2015). Os autores advertiram que o grau em que os substitutos adequados não estão disponíveis é um sinal de preocupação. Com o objetivo de verificar a componente relativa à substituição face à utilização em novas tecnologias, determinar quais os materiais neste contexto (Bernardili e Galli, 1993). Por último enunciar as suas principais aplicações.

Posteriormente pretende-se observar os materiais que se encontram sob o efeito de materialização e desmaterialização entre 1960 e 2015, seguido de uma análise comparativa com o período de 2010-2015, determinando qual a dinâmica estabelecida entre estes dois períodos. Averiguar se existe algum padrão na variação da utilização destes materiais, com especial ênfase para a mudança tecnológica.

3.1. Classificação dos materiais

As matérias-primas necessárias para a fabricação de produtos ou inovações que satisfaçam a atual sociedade são extraídas da natureza com grande impacto social, económico e ambiental. Este metabolismo global repercute-se no ambiente e tem sido causa de grandes preocupações.

Os materiais podem ser avaliados ou classificados quantitativamente sobre a sua produção e consumo, pelo seu valor analisado nos capítulos anteriores, pela sua situação geoestratégica (a), pelo seu grau de perigosidade ou toxicidade (b), pelo risco de oferta (c), também apelidado por alguns autores como criticidade, pela sua substituição (d) ou pela sua importância operacional ou principais aplicações (e), entre outros. Segundo Viana (2008) a classificação é o processo de aglutinação de materiais por características semelhantes. A reciclagem (f) faz parte integrante de toda a cadeia, numa perspetiva de economia circular, visando transformar materiais usados em novos produtos com vista à sua reutilização. Este processo permite reduzir o consumo de matérias-primas, de utilização de energia, da poluição atmosférica e dos meios aquáticos, ao minimizar também a necessidade de tratamento convencional de lixo e a emissão de gases do efeito estufa. Este tema não será objeto de análise no presente estudo ainda que seja abordado pontualmente, merecendo certamente atenção numa perspetiva de trabalho futuro.

a) Situação geoestratégica

A situação geoestratégica considera problemas relacionados com a localização geográfica (reconhecida através da latitude e da longitude) e a sua relatividade estratégica ou seja em sentido figurado, uma estratégia normalmente é estipulada para ultrapassar algum problema, e neste caso pode ser sinónimo de habilidade ou astúcia para alcançar ou minerar um material. Ou ainda empregue em situações de conflito ou guerras, sendo que Celèrier (1955) terá afirmado que a *“geoestratégia é a “irmã mais nova da geopolítica”*. *Forma com esta um díptico homogêneo, tanto ao político como ao militar, um mesmo método de aproximação aos problemas necessariamente interligados do mundo atual (...)* sendo em suma o estudo das relações entre os problemas estratégicos e os fatores geográficos.

b) Toxicidade

A perigosidade ou nível de toxicidade de um material é a capacidade que este tem de causar efeitos adversos a um determinado ser vivo ou organismo, que tenha sido exposto.

Para quantificar os níveis de toxicidade não se fazem testes em seres humanos por questões de bioética⁵ mas podem realizar-se experiências de laboratório com animais (geralmente ratos) ainda que seja um tema controverso. Nem todo o ser humano reage da mesma

⁵ *Bioética é o estudo multidisciplinar entre Ciências Filosóficas (Ética), Biológicas, da Saúde, e Direito (Biodireito). Investiga as condições necessárias para uma administração responsável da vida Humana, animal e ambiental, bem como a responsabilidade moral de investigadores essencialmente na área da saúde, entre outras questões onde não existe consenso moral.*

forma quando exposto à mesma quantidade de material. Por outro lado, espécies diferentes reagem de forma distinta a substâncias, por outras palavras, algumas substâncias que são tóxicas para algumas espécies podem ser inofensivas para outras.

As fontes consultadas sobre a toxicidade dos materiais analisados (suas consequências nos seres vivos e no meio ambiente) foram:

A ACS (American Cancer Society); ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry); NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health); ASAE (Autoridade de Segurança alimentar e económica); Asbestos Removal Now; APA (Agência Portuguesa do Ambiente); CDS (Centers for Disease Control and Prevention); CE (Comissão Europeia); Digitalfire; EPA (Environmental Protection Agency); FAO.Org (Food and Agriculture Organization); Lenntech (Netherlands); USGS (U.S. Geological Survey); ACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health); DGS (Direção Geral de Saúde); HSE (Health and Safety Executive); IARC (International Agency for Research on Cancer); IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health ou Imminent Danger to Life and Health); MSDS (Material Safety Data Sheet); NCEH (The National Center for Environmental Health); NESHAP (National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants); NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences); NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), OMS (Organização Mundial de Saúde)/WHO (World Health Organization); OSHA - Occupational Safety & Health Administration, entre outros.

Existem leis diferenciadas a nível global, sobre como identificar as propriedades consideradas tóxicas ou perigosas dos materiais, denominadas de "classificação", assim como proliferam dezenas de agências, organizações e entidades nacionais ou internacionais que legislam a forma como lidamos com os elementos. A Europa é o continente que mais preocupações tem demonstrado ao legislar (interna ou internacionalmente) impondo limites de utilização de substâncias que possam ser consideradas perigosas para o homem e para meio ambiente quanto à sua extração, recolha, transporte, manuseamento, aplicação e utilização das matérias-primas, inclusivamente como produtos finais. A Comissão Europeia (CE) é um dos reguladores mais ativos e agressivos que procuram abordar o impacto ambiental de materiais. As preocupações crescentes com a toxicidade de vários materiais pesados e retardadores de chama levaram à elaboração da Diretiva da Comissão sobre a restrição do uso de determinadas substâncias perigosas denominada 2002/95/CE, também conhecida como a Diretiva RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances), que entrou em vigor em estados membros da União Europeia (UE) em julho de 2006 (Underwriters Laboratories, 2011).

O simples facto de alguns materiais demonstrarem índices de toxicidade deveria de constituir motivo para deixarem de ser procurados, minerados ou mesmo utilizados em produtos de pequena ou grande escala. Contudo, a sua aparente indispensabilidade provocou inclusivamente em alguns materiais, índices de consumo superiores aos registados pelo crescimento da economia.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2017) classifica a toxicidade dos materiais que apresentam maiores níveis de perigosidade para a saúde humana e ambiental segundo o Guia de classificação de resíduos:

– **Ecotóxico** - *“Resíduo que representa ou pode representar um risco imediato ou diferido para um ou vários setores do ambiente”.*

– **Toxicidade aguda** - *“É uma característica do resíduo material que pode causar efeitos tóxicos agudos na sequência de administração oral ou cutânea ou de exposição por inalação a seres humanos e animais”.*

– **Infecioso** - *“Um resíduo é infeccioso se contém microrganismos viáveis ou suas toxinas, em relação aos quais é conhecido ou há boas razões para crer que causam doenças nos seres humanos ou noutros organismos vivos”. Esta característica de perigosidade está essencialmente associada aos resíduos que resultam da prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou animais;*

– **Cancerígeno** - *“É um resíduo que induz cancro ou aumenta a sua incidência”.*

– **Corrosivo** - *“É um resíduo que, por aplicação, pode causar corrosão da pele”.*

– **Mutagénico** - *“É considerado um resíduo mutagénico aquele que pode causar uma mutação, ou seja, uma alteração permanente da quantidade ou da estrutura do material genético de uma célula”.*

c) Risco de oferta

A generalidade dos materiais encontra-se dispersa pelos cinco continentes em grandes ou pequenas concentrações. A criticidade de recursos é um conceito de sustentabilidade que considera fatores sociais, económicos e ambientais. O Homem consome enormes quantidades de recursos materiais. No entanto, quando esses materiais se tornam muito dispendiosos ou difíceis de extrair (acessibilidade) o nosso modo de vida fica potencialmente comprometido (Krohns, S. et al. 2017).

A criticidade dos materiais (Graedel et al., 2015) depende não apenas da abundância geológica, mas de uma série de outros fatores, como o potencial de substituição, o grau em que os depósitos de minério estão geoestrategicamente concentrados, o estado da tecnologia existente, a quantidade de supervisão regulatória, das iniciativas geopolíticas, da estabilidade versus instabilidade governamental e das políticas económicas.

Aparentemente, uma diversidade de materiais utilizados em novas tecnologias carecem de uma indústria extrativa ou transformadora preparada para fazer face às necessidades do mercado, traduzindo-se frequentemente num abastimento deficitário, como é o caso do lítio ou do cobalto utilizado nas baterias ou dos materiais utilizados na produção de lâmpadas LEDS (podendo comprometer o normal desenvolvimento tecnológico).

Num artigo publicado em *“Sustainable Materials and Technologies”*, investigadores da Universidade de Augsburg, na Alemanha, argumentaram que a criticidade de recursos geralmente é uma reflexão tardia, considerada apenas nos últimos estágios de desenvolvimento de produtos ou no planeamento estratégico de “fim de vida”. Eles apontam que os novos produtos e tecnologias muitas vezes dependem de matérias-primas em risco de interrupções no

fornecimento no curto prazo (0-5 anos), raras ou difíceis de extrair (entre 5-15 anos) ou a longo prazo. Políticas sólidas e investimentos estratégicos podem reduzir o risco de interrupções do abastecimento, especialmente a médio e longo prazo (U.S. Department of Energy, 2010). Para Paterno (1990), relativamente à forma como é realizada a administração de materiais, esta compreende um ciclo contínuo de operações correlacionas e interdependentes que incluem a previsão, a aquisição, o transporte, a distribuição, o armazenamento, a venda de excedentes e análise de inventários, sendo importante enquanto se assegura às indústrias o reabastecimento racional dos materiais necessários à manutenção de seu ciclo operacional evitando a escassez. Ballou (2003) trata a questão dos materiais de forma mais ampla, com uma abordagem logística, onde a mesma pode ser entendida como um conjunto de atividades funcionais, que é repetido inúmeras vezes ao longo dos canais de distribuição, através do qual as matérias-primas são convertidas em produtos finais. Para Arnold (1999), a administração de materiais é uma função coordenadora que tem como responsabilidade o planeamento e controlo do fluxo de materiais. Os seus objetivos pretendem maximizar a utilização de recursos e fornecer as quantidades necessárias ao mercado consumidor. A "criticidade" é uma medida que combina a importância para a economia e o risco de interrupção da oferta (U.S. Department of Energy, 2010).

A distribuição dos elementos na crosta terrestre não é uniforme, e muitos deles não se encontram na sua forma elementar (Chang, 1994). Muitos dos recursos ainda estão por identificar, em especial para os que se encontram nos solos a vários metros/km de profundidade ou no leito dos oceanos. A abundância ou a falta de qualquer uma das matérias-primas pode refletir-se em todo o processo de fabricação e em toda a cadeia do produto, reduzindo ou elevando o valor do material, entre possíveis ganhos ou perdas financeiras, entre outros fatores.

Segundo o World Economic Forum (Jezard, 2017), a 4ª Revolução Industrial (a abordar no 5º capítulo) corre o risco de ficar “sem vapor” por causa da falta de elementos essenciais necessários para executá-la. O lítio é referenciado inúmeras vezes como um dos materiais em risco mas outras matérias-primas são necessárias para impulsionar a tecnologia do futuro, mais raras, sem os quais certas indústrias podem ter que interromper a sua produção. Um relatório da American Chemical Society (ACS) em 2015 classificou 62 elementos da tabela periódica com base no seu risco de oferta, implicações ambientais e vulnerabilidade à escassez. Destacavam o gálio, o índio, o háfnio (não abordado na presente investigação) e o selénio, todos estes subprodutos de outros processos de mineração. Jezard mencionou inclusive um estudo de 2008 que previa o desaparecimento de todo o gálio e háfnio *“Todo o háfnio e o gálio serão eliminados até 2017... outros 20 anos verão a extinção do zinco. Mesmo o cobre é um item em extinção, uma vez que a procura mundial é provável que exceda os recursos disponíveis até o final do presente século”*. A previsão de que certos metais iriam desaparecer até 2017 estava errada - mesmo Graedel *et al.* (2015) autores da tabela e pesquisa periódica de 2015 não previram datas quanto ao risco de fornecimento de alguns materiais. Certo é que, são fatores que podem gerar problemas na Indústria 4.0.

A abundância de materiais refere-se à quantidade, neste caso maior do que a necessária, por outras palavras a abundância dos elementos é uma medida da ocorrência em relação a todos os outros elementos, num determinado ambiente. É mensurada através de três formas: pela fração em massa (igual à fração de peso); pela fração mole (fração de átomos por contagem numérica, ou às vezes fração de moléculas - em gases); ou pela fração volumétrica. Quanto ao seu oposto, a palavra *raridade* é uma qualidade de tudo aquilo que é invulgar, que não é comum, que não é *abundante* e que não é *frequente* (Infopedia, 2018).

As fontes consultadas sobre o risco de oferta (abundância *versus* raro ou escasso) foram essencialmente a USGS (U.S. Geological Survey), (U.S. Department of Energy, 2010) e a Lenntech (Netherlands), com o intuito de clarificar os materiais analisados que apresentam maiores riscos de oferta, foram enumeradas 3 categorias:

- Raro ou Escasso;
- Mediano (apesar de alguns dos componentes do material poderem ser considerados raros ou abundantes);
- Abundante (quando o material existe em grandes quantidades na crosta terrestre).

Nas tabelas (31 a 33) demonstradas por grupos de materiais dos Metais (pág. 115), Semi-metais (pág. 153) e Não metais (pág. 159) o *ranking* da abundância de elementos na crosta terrestre é estimado para cada elemento que o estudo avaliou por percentagem ou partes por milhão (ppm) em massa (sendo 10 000 ppm = 1%). Os elementos da *tabela 34*, do grupo dos Minerais (págs. 171), não foram contemplados pelo supra citado ranking.

As fontes reportam a uma tabela de 78 elementos (em que o oxigénio (O) é o primeiro elemento e o seu oposto reporta ao ósmio (Os), entre 78 elementos, segundo as fontes: Darling (2016); Barbalace (2018); WebElements (2018); Cox (1989); Israel Science and Technology Directory (2018) e Jefferson Lab (2018).

d) Substituição

O princípio orientador da substituição considera os recursos globalmente consumidos tentando alcançar substitutos que demonstrem melhores desempenhos com menores custos associados e simultaneamente com menores riscos ambientais. Na vulnerabilidade à restrição de fornecimento ou escassez Graedal *et al.* (2005) advertiram que o grau em que os substitutos adequados não estão disponíveis é um sinal de preocupação.

Todavia, numa perspetiva macro, o importante é analisar a finalidade da utilização desses recursos, por exemplo em inovações como o motor elétrico face ao de combustão comparativamente à eficiência, à fiabilidade ou à manutenção. Ou relativamente a materiais como a fibra de carbono que apresenta um menor peso e simultaneamente um conjunto de vantagens proporcionadas pelas suas características mecânicas comparativamente a outros materiais sendo consequentemente utilizada em diversas inovações que privilegiam a mobilidade. O carbono ativado, um outro exemplo tipicamente constituído por nanopartículas com tamanhos de poro customizados, que melhora drasticamente a eficiência de filtros de água.

A desmaterialização também pode envolver a substituição de materiais menos sustentáveis por materiais mais sustentáveis, tanto em termos de energia incorporada, quanto ao longo do ciclo de vida do produto. Por exemplo, considerando a substituição de aço e alumínio em veículos (Daehn, 2014). Esta substituição envolverá uma redução geral de peso, porém um aumento na energia contabilizada ao veículo devido aos maiores custos de energia destinados à produção de alumínio em comparação com o aço. Ao longo da vida útil do veículo, o alumínio será a escolha mais sustentável devido ao aumento da eficiência do veículo (e, portanto, menor consumo de energia) associado a um veículo de peso leve. Às adaptações necessárias no processo produtivo para a substituição de materiais, na indústria automóvel exigem-se materiais mais leves, menores custos de produção e melhores desempenhos, compatíveis com as solicitações mecânicas das peças em estudo. Estas oportunidades são extraordinárias pois os novos materiais podem dar origem a novos produtos de consumo, a tecnologias inovadoras e a novas indústrias.

Quando se equaciona a substituição de materiais habitualmente estamos condicionados às opções dos denominados materiais convencionais, pelas características físicas e mecânicas que reconhecemos. No entanto, há outros materiais apelidados de multifuncionais que podem e complementam os existentes, apresentando particularidades inovadoras para um sem número de aplicações, diluindo as fronteiras entre o possível e o desejável.

Um aumento na eficiência ao nível da multifuncionalidade de produtos, de componentes e dos sistemas é uma das principais vantagens da utilização de novos materiais agregados a estruturas polivalentes (Penn State, [s.d.]). Particularmente, na indústria automóvel e aeroespacial, a utilização de materiais compósitos nos componentes resulta numa redução do peso estrutural e consequente numa economia de combustível e melhoria de desempenho (Miluski *et al.*, 2015). Atualmente, esta multifuncionalidade já pode ser alcançada através de materiais que têm a capacidade de reagir a estímulos, simulando o comportamento dos mesmos na natureza. A anatomia de um sistema de material inteligente é formada por mecanismos que se comportam como músculos, sensores que possuem a arquitetura e características de processamento dos nervos e o sistema de controlo do motor que conta com redes de comunicação e computação que imitam o sistema biológico do nosso cérebro. (Silva *et al.*, 2003). Materiais estes que se tornam sensíveis, à luz, à temperatura, ao *stress*, ou recorrendo à “memória” de forma, com características óticas, elétricas e mecânicas, entre outras (Ferreira *et al.* 2016). Inclusivamente, alguns materiais tradicionais que fornecem alta resistência mecânica podem ser modificados em nanoescala para atingir outras propriedades, (como (e.g) a absorção de energia, ou a autorregeneração). As aplicações destes novos materiais ditos “inteligentes” incluem áreas da energia, da medicina, nanoeletrónica, aeroespacial, na defesa (Penn State, [s.d.]), entre outras indústrias. Um excelente exemplo de material inteligente atualmente utilizado no domínio aeroespacial é o material compósito, especialmente os laminados CFRP (Carbon fiber-reinforced polymer) de alto desempenho, com fibras incorporadas. Além da sua extraordinária simplicidade tecnológica, essas estruturas possuem

vantagens resultantes da contribuição individual e da simbiose perfeita entre ditos compósitos e fibras óticas (Silva *et al.*, 2003).

Por sua vez, Santos *et al.* (2012), reportam os resultados de um material de tricálcio fosfato (B-TCP) proposto para função estrutural (substituto ósseo) e regeneração do tecido ósseo, incluindo detalhes da porosidade, densidade, estabilidade de fase, comportamento mecânico e perfil citotóxico, propriedades essas fundamentais para a aplicação futura dessas estruturas como substitutos ósseos para procedimento médico (Santos *et al.*, 2012)

A multifuncionalidade de materiais ocorre geralmente em escalas, de nano a macro e em vários níveis temporais e de composição. Materiais desse tipo têm um enorme potencial para impactar o novo desempenho do sistema, reduzindo em tamanho, peso, custo, consumo de energia e complexidade, ao mesmo tempo em que melhoram em eficiência, segurança e versatilidade. (Nemat-Nasser *et al.*, 2005).

Os sistemas de materiais inteligentes terão um impacto global em inúmeras e variadas aplicações que transformam radicalmente o conceito de base de engenharia de *design* neste século, principalmente nas áreas da robótica, da arquitetura, da engenharia civil e nas estruturas espaciais (Silva *et al.*, 2003).

A substituição é abordada ao longo da análise dos materiais selecionados (salvo algumas exceções, ou em que não se aplica), através de diversos dados com especial relevo pelos fornecidos pela USGS (U.S. Geological Survey).

e) Aplicações

Identificar quais as principais aplicações em que os materiais são utilizados para o fabrico de determinados produtos ou de inovações conforme as necessidades manifestas pelos consumidores fazem parte deste item. Os dados utilizados incidiram principalmente através da USGS (U. S. Geological Survey); da Lenntech e da Azo Materials.

f) Reciclagem

A extração e a própria indústria transformadora/produtora gera uma enorme quantidade de produtos, de produtos químicos e subprodutos que provocam resíduos, os quais para além de poluir o ambiente podem ser absorvidos pelas cadeias alimentares, acabando por contaminar o ecossistema.

Das centenas de objetos que adquirimos, que utilizamos e que no final do ciclo de vida do produto são depositados em aterros, existem ainda poucos sistemas sustentáveis para permitir a reutilização e reciclagem das matérias-primas (face a uma perspetiva de economia circular). Kumar (2018) refere que é um fator encorajador saber que cerca de 4,8 mil milhões de pessoas ou seja 66% da população mundial já se encontram abrangidas por legislação de resíduos. No entanto, essencialmente em países emergentes, muitas das fábricas e centros de tratamento de resíduos e reciclagem ainda não são abrangidos por regulamentos formais com os cuidados mínimos e a proteção adequada.

A Diretiva de 2008/98/CE da Comissão Europeia (CE. Environmental, 2016) estabelece os conceitos e definições básicos relacionados com a gestão de resíduos, tais como a classificação, reciclagem e recuperação. A diretiva esclarece quando o resíduo deixa de ser um desperdício e se transforma uma matéria-prima secundária (os denominados critérios de fim de resíduos) e como distinguir entre desperdícios e subprodutos. Para além disso, a diretiva determina alguns princípios básicos de gestão exigindo que os desperdícios sejam geridos sem pôr em risco a saúde humana e prejudiquem o meio ambiente (em particular, em meios atmosféricos, aquáticos, terrestres, na flora, na fauna), sem ruído ou odores.

Nesta área, os metais pesados, como o mercúrio, o chumbo, o cádmio, os PCBs (do inglês *PolyChlorinated Biphenyls*) e dioxinas do grupo dos POP (Poluentes Orgânicos Persistentes) têm sido os contaminantes mais referidos. A queima, a destruição ou deposição direta em aterros da generalidade de dispositivos EEE (Equipamentos Elétricos e Eletrónicos) representa riscos ambientais e de saúde consideráveis, à medida que os poluentes se acumulam na atmosfera, na água e nos solos.

A referida Diretiva RoHS segundo a European Commission (2017) regula essencialmente as substâncias específicas consideradas mais perigosas, ou seja com índices mais altos de toxicidade, com concentrações limitadas em partes por milhão (ppm) pelo peso de cada material homogéneo que podem ser separados mecanicamente, da seguinte forma:

- Cádmio (Cd) - 0,01% (100 ppm)
- Chumbo (Pb) - 0,1% (1000 ppm)
- Mercúrio (Hg) - 0,1% (1000 ppm)
- Crómio hexavalente (Cr (VI)) - 0,1% (1000 ppm)
- Os Bifenilos Polibromados também chamados de bifenilos bromados ou polibromobifenilos (PBB) são um grupo de produtos químicos fabricados que consistem em derivados polihalogenados de um núcleo de bifenilo. São uma família de compostos manufaturados para fins industriais, tendo tido ampla utilização até 1975 como aditivo em óleos lubrificantes, tintas adesivos, plásticos, retardadores de chama, transformadores e condensadores, entre outros. As suas propriedades químicas, tais como a baixa condutividade elétrica, alta resistência ao calor e estabilidade química são responsáveis pela sua persistência no ambiente. Os PCBs acumulam-se nos tecidos adiposos dos peixes, tendo sido detetados teores elevados nos produtos alimentares aquáticos em países industrializados. A sua toxicidade crónica é essencialmente devida à sua capacidade de acumulação no ambiente, posteriormente nos tecidos animais e Homem (ASAE, 2018).
- Éteres Difenílicos Polibromados (PBDE, do inglês *polybrominated diphenyl ethers*) são compostos organobromados que são usados como retardadores de chama. - 0,1% (1000 ppm).

O mais recente relatório da Global E-Waste Monitor coloca a Índia (e.g.) como um dos maiores contribuintes para o desperdício de EEE - Equipamentos Elétricos e Eletrónicos a nível global, gerando mais de 2 milhões de toneladas métricas em 2016, posicionando graves riscos

para a saúde e para o meio ambiente. À medida que os instrumentos do governo são cada vez mais digitalizados e a indústria se reposiciona para alavancar as soluções da Indústria 4.0 (a desenvolver no capítulo 4), a geração de resíduos tornar-se-á um subproduto de escolhas sustentáveis. No intuito de simplificar a gestão de resíduos, o governo indiano notificou as Regras de Resíduos Eletrónicos em 2011, com base no conceito de responsabilidade ampliada do produtor (EPR). A Índia já é líder na gestão e reciclagem de resíduos elétricos e eletrónicos. O lixo EEE contém várias substâncias tóxicas, como mercúrio e chumbo, entre outros, que pela exposição prolongada pode levar a grandes problemas de saúde (Aneja, 2018). Uma visão de economia circular para a Índia incluiria a organização de sistemas informais de gestão de resíduos, incluindo iniciativas de segurança e proteção social para os trabalhadores; controlando as regras de resíduos existentes para aumentar a responsabilização dos fabricantes, tanto em termos de *design* quanto de disposição responsável; a existência de centros de dados verdes; e a construção de futuras cidades inteligentes com vista à eficiência de energia e água, entre outros. Um relatório recente da Fundação Ellen McArthur e do Fórum Económico Mundial estimou que a economia circular para o desenvolvimento das nações, poderia trazer os benefícios anuais na Índia de US \$ 624 bilhões até 2050. As emissões de gases com efeito de estufa também poderiam ser reduzidas em mais 44% até 2050 em comparação com o panorama atual.

As principais fontes utilizadas sobre a reciclagem de materiais foram: USGS (U.S. Geological Survey); Comissão Europeia, ASAE (Autoridade de Segurança Alimentar e Económica); Quercus; Azo materials; Digital Fire, entre outras.

3.2. Análise por grupo de materiais

No presente estudo foram selecionados e examinados mais pormenorizadamente 69 materiais, segundo uma ordem, relativamente à sua situação geoestratégica, toxicidade, risco de oferta, substituição e principais aplicações (salvo raras exceções ou quando não aplicável), subdivididos em grupos. Sendo eles os Metais (31 materiais), os Semi-metais (6 materiais), os Não-metais (4 materiais), os Minerais (22 materiais) e as Rochas & Pedras (6 materiais). De todos os materiais presentes nas *tabelas 6. a 14., capítulo 1 (pág. 26-29)*, alguns não foram mencionados neste capítulo por não serem suficientemente relevantes neste contexto (classificação de materiais anteriormente enumerada) ou por se encontrarem na mesma categoria de material como por exemplo a mica (em flocos e natural) ou o magnésio (primário e os seus compostos).

Foi ainda realizada uma apreciação global aos grupos da Celulose e derivados (16 materiais), Madeira (11 materiais), Fibras (4 materiais) e Plásticos (considerado como um único material), isto porque esses materiais (individualmente), não apresentam propriamente um risco de oferta, implicações geoestratégicas ou níveis de toxicidade alarmantes, ainda que alguns processos de transformação (como a pasta de papel, ou o fabrico de embalagens de plástico) apresentem alguns efeitos nocivos para o Homem e para o meio ambiente.

Tabela 31. Grupo dos Metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre para 78 elementos (segundo fontes na página 110, oitava alínea).

Metais (t) 33

	Raro/ Escasso	Mediano	Abundante	Ecotóxico	Toxicidade (aguda)	Infec./Cancerígeno	Corrosivo	Mutagénico	Alguma toxicidade	Pouca ou isento
Aço		x								
Alumínio (Al)			3							
Berílio (Be)		48								
Bismuto (Bi)	69									
Cádmio (Cd)	64									
Cálcio (Ca)			5							
Chumbo (Pb)		37								
Cobalto (Co)		32								
Cobre (Cu)			26							
Crómio (Cr)			22							
Estanho (Sn)		49								
Estrôncio (Sr)			16							
Ferro (Fe)			4							
Gálio (Ga)		35								
Índio (In)	68									
Lítio (Li)		33								
Magnésio (Mg)			8							
Manganês (Mn)			12							
Mercúrio (Hg)	66									
Nióbio Nb)		34								
Níquel (Ni)			24							
Ouro (Au)	72									
Platina (Pt)	71									
Potássio (K)			7							
Prata (Ag)	65									
Rénio (Re)	75									
Tálio (Tl)	58									
Tântalo (Ta)		52								
Tungsténio (W)			19							
Vanádio (V)			20							
Zinco (Zn)			25							

3.2.1. Metais

Os metais pesados são constituintes naturais da crosta terrestre, estando amplamente distribuídos na natureza. Contudo, alguns metais pesados, são tóxicos em concentrações

elevadas e como tendem a acumular-se nos organismos vivos ao longo do tempo, constituem um risco para a saúde. Os metais são libertados para o ambiente, através de processos naturais de erosão das rochas, surgindo nos solos, nos rios, nos lagos e no mar. Por outro lado, as atividades industriais como a combustão industrial de carvão, as fundições, a incineração de resíduos, contribuem para aumentar as emissões de metais pesados para a atmosfera. Uma vez que não se degradam ou destroem facilmente, tendem a acumular-se através de sedimentos nos solos, no ar e na água sendo contaminantes persistentes para o meio ambiente. (ASAE, 2018).

Na última década, a escassez esporádica de metais cruciais para a tecnologia moderna inspirou tentativas de determinar a relativa "criticidade" de várias matérias-primas como guia para engenheiros e *designers* de produto. Os metais que geram maior preocupação tendem a ser aqueles que possuem três características: estão disponíveis em grande parte ou totalmente como subprodutos; são usados em pequenas quantidades para aplicações altamente especializadas ou não possuem substitutos efetivos.

Até à segunda metade do século XX, apenas uma modesta fração dos elementos foi utilizada na tecnologia em graus significativos e os limites para esses recursos não foram considerados importantes para discussão. Os metais destinados a componentes eletrónicos ou utilizados em pequenas quantidades, em aplicações tecnológicas emergentes muito específicas estão em grande parte relacionados com o risco de oferta. Incluem metais como o índio, o antimónio, o gálio e o selénio, tendo alguns deles uma vulnerabilidade bastante alta para demonstrarem restrição. O estudo de Graedal *et al.* (2015) utilizou uma metodologia a qual aplicaram a 62 metais num "espaço de criticidade", tendo por base 3 eixos; o risco de oferta, as implicações ambientais e a vulnerabilidade à restrição do fornecimento. Os dados utilizados para a avaliação foram as determinações de *stock* de metal em uso, uma análise de fluxo de material metálico, o potencial de substituição dos metais, recursos existentes a nível mundial/por país e resultados de avaliação do ciclo de vida ambiental.

- **Aço**

O aço é atualmente a mais importante liga metálica. Existem numerosas jazidas de minerais de ferro suficientemente ricas, puras e fáceis de explorar, encontrando-se por isso em zonas diversificadas. Além dos componentes principais, o aço incorpora outros elementos químicos, alguns prejudiciais, provenientes dos desperdícios, do mineral ou do combustível utilizado no processo de produção, como o enxofre e o fósforo.

A matéria-prima da qual é produzida, o ferro é um dos elementos mais abundantes no planeta, e também forma o seu núcleo (encontrado em grandes quantidades na crosta terrestre).

Durante o processo de produção, o oxigénio é separado do ferro. O resultado é um elemento puro: um material homogéneo que não emite nenhuma substância que agrida o meio ambiente, isto porque simultaneamente, as emissões de CO² foram reduzidas para metade e a

emissão de partículas para mais de 90%. Depositadas em dispositivos de filtragem, as partículas são quase totalmente recicladas. A melhoria contínua no processo de produção inclui uma redução no consumo de água, aproximadamente menos 50% desde 1960. Além disso, todos os gases residuais são reutilizados para produção de energia. Praticamente metade da produção mundial de aço ocorre em siderúrgicas elétricas alimentadas exclusivamente com sucata reciclada e não geram emissões de CO² (Futureng, 2016). Este material tem a vantagem de poder ser reciclado indefinidamente sem perder nenhuma de suas qualidades.

Alguns elementos de liga de aço, bem como elementos utilizados em ligas de alta temperatura, apresentam vulnerabilidade à restrição de fornecimento e escassez (Graedal *et al.*, 2015).

O aço, dentro do grupo dos metais é o elemento com maior preponderância atingindo 1,61 x 10⁹ toneladas consumidas no ano de 2015, representando um aumento entre os anos de 1960 e 2015 de 365%.

A indústria siderúrgica continuará a produzir uma grande variedade de aços avançados de alta resistência para a indústria automóvel com o intuito de substituir o aço macio de modo a satisfazer novos requisitos. Cerca de dois terços, em peso, de cada veículo atualmente produzido contém aço em componentes estruturais, de chapa metálica tais como: tampas, portas, pára-lamas e tejadilhos. Da China, o principal produtor e consumidor de aço do mundo, espera-se um excesso de produção até ao ano de 2020, enquanto o consumo provavelmente não excederá os 700 milhões de toneladas (Fenton, 2017).

Na maioria das aplicações, o aço compete quer com materiais não metálicos menos dispendiosos, quer com materiais mais caros que apresentam vantagens ou melhores performances, como materiais mais leves (e.g. o alumínio e os plásticos) afirmou Fenton (2018).

- **Alumínio (Al)**

É o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre (8% aprox.) todavia é extraído com outros elementos, como oxigénio, silício e flúor. O alumínio como metal é obtido a partir de minerais contendo alumina. Pequenas quantidades de alumínio podem ser encontradas dissolvidas em água.

Os dados da USGS (2017) demonstram que pela capacidade de fundição e produção mundial deste material é muito cobijado. Os recursos globais de bauxite, o principal minério do alumínio, estão estimados entre 55 a 75 mil milhões de toneladas e são suficientes para fazer face à procura mundial de metal no futuro (Bray, 2017a). A Associação do Alumínio aventa que a indústria de alumínio dos EUA gera um impacto económico direto em mais de US \$ 75 mil milhões por ano (Aluminium Association, 2018). A recuperação deste metal dos desperdícios (via reciclagem) tornou-se uma componente importante para indústria e comércio deste material. O baixo custo de reciclagem aumenta a sua vida útil e a estabilidade do seu valor.

O alumínio não é tóxico como metal, no entanto algumas pessoas manifestam alergia, sofrendo dermatites, inclusive desordens digestivas (ao ingerir alimentos cozinhados em

recipientes de alumínio) ou danos no sistema nervoso/respiratório. Segundo a Organização Mundial da Saúde, estipulou-se que a porção semanal tolerável é de 1 mg de alumínio por quilograma de massa corporal. Portanto, uma pessoa de 50 kg teria uma quantidade tolerável de 50 mg de alumínio por semana (WHO, 2017). Altas concentrações deste material podem causar problemas de saúde. O alumínio é um dos principais fatores que reduzem o crescimento das plantas em solos ácidos. O contacto direto com este material é considerado geralmente inofensivo. Tanto é que abunda no nosso quotidiano em caixilharias, estruturas, marquises, determinados utensílios, entre outros, assim como em minas e locais de trabalho destinados à produção. Onde existem altas concentrações deste material ou sob a forma de pó pode causar riscos ambientais e para a saúde (Lenntech, 2018).

A leveza do alumínio, a sua condutividade elétrica, maleabilidade, resistência à corrosão e baixo ponto de fusão conferem-lhe uma multiplicidade de aplicações sendo utilizado cada vez mais em componentes para EEE, talvez daí a sua maior expressão.

O alumínio pode ser substituído por outros materiais como os compósitos, por exemplo nas aeronaves (fuselagens e asas). O vidro, os plásticos e o aço podem substituir o alumínio quando se trata de embalagens. No setor da construção o alumínio pode ser substituído por aço, vinil, compósitos e madeira. O cobre pode substituir o alumínio na eletricidade e componentes submetidos a calor. O alumínio é utilizado em latas de bebidas, painéis e frigideiras, aviões, coberturas, tapumes e em folhas, entre outros. É frequentemente misturado com pequenas quantidades de outros metais para formar ligas de alumínio, que são mais fortes e resistentes (ATSDR, 2018a).

- **Berílio (Be)**

O berílio é um metal duro e acinzentado naturalmente encontrado em rochas minerais, carvão, solo e poeiras vulcânicas e em zonas diversificadas do planeta. O berílio é encontrado em cerca de 30 minerais diferentes, como o berilo, a bertrandita, o crisoberilo e a fenaquita, principais fontes de obtenção do berílio.

Os recursos identificados pelo mundo do berílio foram estimados em mais de 100 mil toneladas. As maiores reservas estão nos Estados Unidos (60%) os quais lideram a produção mundial de berílio, seguidos da Rússia e China (Jaskula, 2018a). Os dados detalhados sobre as quantidades de berílio reciclado não estão disponíveis, mas podem representar de 20% a 25% do consumo total de berílio. O berílio fabricado a partir de fontes recicladas requer apenas 20% da energia tal como a do fabricado a partir de fontes primárias (Jaskula, 2017a).

É um elemento alcalino-terroso, bivalente e tóxico. A toxicidade da inalação de substâncias que possuem o berílio pode causar uma doença crónica com risco de vida. O berílio e seus compostos devem ser manipulados com muito cuidado; devem de ser tomadas precauções extremas nas atividades profissionais que manuseiam estes tipos de materiais. É conhecido por ser um carcinogénico humano. A inalação prolongada pode causar cancro do

pulmão. Segundo a EPA- Environmental Protection Agency/ IARC- Institute of Action Research for Community Health/ NTP - National Priorities List, em contato com a pele pode causar eczema e ulcerações e a absorção pela ingestão é reduzida mas já foram relatados casos de ulcerações no trato digestivo (ATSDR, 2018b).

Porque o custo do berílio é elevado comparado com a generalidade dos materiais, é utilizado em aplicações em cujas propriedades são cruciais. Certas matrizes metálicas ou compósitos orgânicos, de alumínio, grafite pirolítica, carboneto de silício, aço ou titânio podem ser substitutos do berílio ou por compósitos de berílio (Jaskula, 2018a).

As ligas de cobre contendo níquel e silício, estanho, titânio ou outros elementos de liga ou ligas de fósforo (cobre-fósforo) podem ser substituídas por ligas de berílio-cobre, no entanto essas substituições podem resultar em desempenhos substancialmente reduzidos. O nitreto de alumínio ou o nitreto de boro podem ser substituídos por óxido de berílio, segundo as referências (Jaskula, 2018a) da USGS.

Os compostos de berílio são extraídos comercialmente e o berílio é purificado para uso em armas nucleares e reatores, aeronaves e estruturas de veículos espaciais, instrumentos e espelhos. Os minérios de berílio são utilizados para produção de cerâmicas especializadas para aplicações elétricas e de alta tecnologia. As ligas de berílio são usadas em automóveis, computadores, equipamentos desportivos (e.g. tacos de golfe, quadros de bicicleta). O berílio é utilizado na construção de diversos dispositivos como giroscópios, guias de projéteis e de foguetes, equipamentos de informática, aplicações em diagnósticos com raio x, molas de relógio e instrumentos diversos.

- **Bismuto (Bi)**

O bismuto existe na crosta terrestre na forma elementar, não muito abundante, e na forma de minerais. O bismuto, estimado em 8 partes por mil milhões em peso, ocupa o 69º lugar de abundância elementar na crosta terrestre e é cerca de duas vezes mais abundante que o ouro (Klochko, 2018b).

As reservas mundiais de bismuto são geralmente estimadas com base no teor de bismuto dos recursos de chumbo, porque a produção de bismuto é, na maioria das vezes, um subproduto do processamento de minérios de chumbo, mas de momento não estão quantificadas. A produção de bismuto é um subproduto ou coproduto do processamento de tungsténio e minério de outros metais, essencialmente produzido na China e no Vietnam. Os minerais de bismuto raramente ocorrem em quantidades suficientes para serem extraídos como produtos principais; a Tasna Mine na Bolívia (inativa desde 1996) e uma mina na China são os únicos locais onde o bismuto é(era) obtido como produto principal (Anderson, 2017a). Encontra-se quantificado na produção em países como a China, Laos, México, Japão, Cazaquistão, Canadá e Rússia. O bismuto nos Estados Unidos é obtido como subproduto do processamento de minerais de cobre, ouro, prata, estanho e essencialmente do chumbo (Klochko, 2018b).

O bismuto e os seus sais podem causar danos no ser humano. Grandes quantidades podem ser fatais. Industrialmente, entre os metais pesados, é o único que praticamente não é considerado tóxico. O oxiclreto de bismuto é utilizado extensivamente em cosméticos e tanto o subnitrato de bismuto como o subcarbonato de bismuto são aplicados em medicina. Outras aplicações incluem artigos de pesca, pesos, munições de caça, graxas, lubrificantes, ligas de solda, catalisadores, ímans ou na produção de ferros maleáveis, entre outras. (Anderson, 2017a).

Os compostos de bismuto podem ser substituídos em aplicações farmacêuticas por alumina, antibióticos e periclase também denominado de magnésia (um mineral de óxido de magnésio). O índio pode substituir o bismuto em soldas de baixa temperatura. As resinas podem substituir as ligas de bismuto para manter formas metálicas durante a maquinação. O bismuto é um substituto ambientalmente amigável para o chumbo em canalizações.

- **Cádmio (Cd)**

É um metal relativamente pouco abundante. O cádmio é um elemento natural mas escasso na crosta terrestre. Geralmente é encontrado como um mineral combinado com outros elementos como o cloro (cloreto de cádmio) ou enxofre (sulfato e sulfeto de cádmio). A maioria do cádmio utilizado nos Estados Unidos é extraído durante a produção de outros metais como o zinco, chumbo e cobre. A esfalerita, o mineral de minério de zinco economicamente mais significativo, geralmente contém muitas quantidades de cádmio. As estimativas quantitativas de reservas não estão disponíveis, referiu Tolcin, (2018). As reservas são difíceis de serem encontradas e existem em pequenas quantidades.

Apesar de inúmeras aplicações industriais e de ser um elemento químico essencial, o cádmio em elevadas quantidades pode provocar diversos problemas ambientais, uma vez que é um elemento do grupo dos metais pesados mais tóxicos sendo organo cumulativo.

É reconhecido como carcinogéneo humano (ATSDR, 2018c). Em Outubro de 2013, o Parlamento Europeu retificou a norma da União Europeia (UE) (2006/66 /CE) para proibir a inclusão de baterias NiCd em ferramentas elétricas sem fio a partir de 31 de dezembro de 2016, após o que as baterias de níquel-cádmio só poderiam ser usadas em sistemas de emergência e equipamentos médicos. Em maio de 2015, o Parlamento Europeu votou contra a extensão de uma isenção para os pontos quânticos contendo cádmio (utilizados em *displays* de díodos emissores de luz) sob a Diretiva relativa à restrição de substâncias perigosas. Em fevereiro de 2016, o Parlamento Europeu alterou as suas restrições sobre o uso de cádmio em certas pinturas limitando o teor de cádmio nas tintas (a não mais de 0,01% em peso) e proibindo a colocação de tais tintas no mercado.

Apesar destas restrições, os resíduos contendo cádmio continuarão a ser gerados como subproduto durante o processo de fundição de zinco. Se as aplicações e os mercados de cádmio continuarem a diminuir, o excesso de resíduos contendo cádmio pode necessitar de ser armazenado permanentemente (Tolcin, 2017a).

Revestimentos de alumínio depositado com zinco ou vapor podem ser substitutos de cádmio em muitas aplicações de chapeamento. O sulfeto de cério é usado como substituto para pigmentos de cádmio, principalmente em plásticos. Os estabilizadores de zinco-zinco ou cálcio-zinco podem substituir os estabilizadores de bário-cádmio em aplicações de PVC (flexível). As baterias de íões de lítio e hidreto de níquel podem substituir baterias de níquel-cádmio (NiCd) em muitas utilizações (exceto onde as características da superfície de um revestimento são críticas (como fixadores para aeronaves), As células fotovoltaicas de silício amorfo e cobre-índio-gálio-selénio competem com o telureto de cádmio (Tolcin, 2018).

O cádmio não corroe facilmente e tem muitas aplicações, incluindo baterias, pigmentos, revestimentos metálicos e plásticos.

- **Cálcio (Ca)**

É considerado o quinto elemento em abundância na crosta terrestre (1,6% em massa) (Lide, 1996). Não é encontrado em estado nativo na natureza, fazendo parte como constituinte de rochas ou minerais de grande interesse industrial, como as que apresentam na sua composição carbonatos (como o mármore, calcita, calcário e dolomita) e sulfatos (gesso, alabastro) a partir dos quais se obtêm a cal viva, o estuque, o cimento, entre outros.

O cálcio é o metal mais abundante no corpo humano, especialmente na forma de compostos como o carbonato de cálcio. Se forem encontradas aproximadamente 1 200 gramas de cálcio num adulto, 1 110 gramas alojam-se nos tecidos ósseos. Os restantes 90 gramas são utilizados para diversas funções (e.g. tais como atividades das membranas celulares, contrações musculares, impulsos nervosos, controlo de acidez do sangue, divisão celular, controlo hormonal e na coagulação sanguínea) (Emsley. 2003).

Os compostos de cálcio são usados na fabricação de uma enorme variedade de produtos desde tintas a fertilizantes. O cálcio metálico é largamente utilizado na indústria para eliminação de gases residuais em tubos de vácuo, sendo agente redutor na preparação de metais como o urânio, zircónio, entre outros. É igualmente aplicado como dessulfurizador e descarbonizador de várias ligas metálicas.

Encontra aplicações como componente de ligas de alumínio, de berílio, de cobre, de chumbo, de magnésio, entre outras. É utilizado na forma de óxido de cálcio (CaO) na curtição de couros, na refinação do petróleo e na composição de mais de 90% de todos os vidros comercializados, pela sua acessibilidade, baixo custo e facilidade na moldação e fundição (numa elevada percentagem de vidros planos, recipientes de vidro, lâmpadas e muitos outros objetos industriais).

- **Chumbo (Pb)**

O chumbo raramente é encontrado no seu estado elementar. O mineral de chumbo mais comum é o sulfeto de galena (PbS) encontrado com abundância na crosta terrestre que possui 86% de Pb na sua composição, supostamente em zonas diversificadas. Os minerais comerciais

podem conter pouco chumbo (3%), porém o mais comum ronda os 10%. Os minerais são concentrados até alcançarem um conteúdo de 40% ou mais de chumbo, antes de serem fundidos.

Os principais depósitos de minérios de chumbo estão localizados nos Estados Unidos, Austrália, Canadá, Peru, México, Bolívia, Argentina, África do Sul, Zâmbia, Espanha, Suécia, Alemanha, Itália e Sérvia, sendo os principais produtores os Estados Unidos, a Austrália, o Canadá, o Peru e o México. Os recursos de liderança mundial identificados totalizam mais de 2 mil milhões de toneladas. Foram identificados recursos em associação com o zinco e (ou) depósitos de prata ou cobre na Austrália, China, Irlanda, México, Peru, Portugal, Rússia e Estados Unidos (Guberman, 2017b).

É um metal tóxico, conhecido e utilizado desde a antiguidade. As vias de contaminação podem ser a inalação de fumos, poeiras e a ingestão. Durante décadas, foi erradamente utilizado na medicina dentária na reconstituição de dentes sendo atualmente um material que foi substituído por porcelanas ou compósitos cerâmicos. Apenas as formas orgânicas do metal podem ser absorvidas via cutânea (Ruppenthal, 2013; Purchase e Fergusson, 1986; Fergusson e Purchase, 1987).

É o metal não ferroso mais utilizado na indústria. Graças à sua excelente resistência à corrosão, o chumbo encontra muitas aplicações na construção civil e principalmente, na indústria química. A utilização mais ampla do chumbo é na fabricação de acumuladores. Outras aplicações importantes consistem na fabricação de forros para cabos, pigmentos, soldas suaves e munições. Durante muito tempo tem-se utilizado o chumbo como manta protetora para os aparelhos de raio-X e raios *gama*.

O estanho substituiu o chumbo na solda por sistemas de água potável. A sua utilização como forro para cabos de telefone e de televisão continua a ser uma forma de utilização adequada para o chumbo, contudo a sua substituição por plásticos reduziu o uso do mesmo na cobertura de cabos e latas. A indústria eletrónica optou por soldas sem chumbo e de ecrã plano que não requerem blindagem de chumbo. O aço e o zinco são substitutos comuns do chumbo nos pesos das rodas (Guberman, 2017; Klochko, 2018c). Aos poucos também as baterias de chumbo-ácido vêm sendo substituídas por outros materiais como o níquel e o lítio. A reciclagem inapropriada de baterias mantêm-se um grave risco para a saúde de cerca de 1 milhão de pessoas em todo o mundo (World Economic Forum, 2018).

- **Cobalto (Co)**

O cobalto é um elemento que ocorre naturalmente nas rochas, solo, água e nos seres vivos. Tal como o níquel, o cobalto é encontrado na crosta terrestre somente na forma quimicamente combinada, exceto pelos pequenos depósitos descobertos nas ligas de ferro meteórico natural. O elemento livre, obtido por fundição redutora, é um considerado um metal duro. Geoestrategicamente falando é por muitos considerado como um dos materiais mais críticos encontrando-se em zonas problemáticas e restritas da crosta terrestre.

Até à segunda metade do século XX, apenas uma fração modesta destes elementos era utilizada na tecnologia em qualquer grau significativo e os limites para esses recursos não eram considerados importantes para discussão útil. A situação começou a mudar com a publicação do "Relatório Paley" em 1952, o que sugeriu que as limitações de recursos eram, de facto, possíveis. Uma década depois, uma guerra civil na RDC - República Democrática do Congo provocou uma diminuição significativa, embora temporária, do suprimento de cobalto (British Geological Survey, 2005), indicando que as preocupações do supra citado relatório Paley poderiam ter mérito (Maass, 2013).

Dois terços do cobalto mundial são extraídos na RDC. A política instável do país e o trabalho infantil exigem o escrutínio na ética do elemento que alimenta os atuais estilos de vida orientados para as novas tecnologias. Em 2005, o principal produtor de cobalto situava-se nos depósitos de cobre na província de Katanga (antiga província de Shaba - RDC) com quase 40% de participação mundial (Benham e Brown, 2007). Até 2015, a RDC forneceu 60% da produção mundial de 32 000 t a preços de US \$ 20.000 a US \$ 26.000 por tonelada, incluindo a mineração artesanal que forneceu entre 10% a 25% (Frankel, 2016). O denominado "Cinto de cobre" entre a RDC, a República Centro-Africana e na Zâmbia produz a maior parte do cobalto extraído em todo o mundo. Só a RDC representou mais de 50% da produção mundial de 2016 (123 mil toneladas), de acordo com a Natural Resources of Canada (Bochove, 2017). Segundo Shedd, os recursos mundiais podem atingir cerca de 25 milhões de toneladas. Shedd (2018) afiança que foram identificados depósitos em nódulos e crostas de manganês no leito dos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico.

Em 2017, a Volkswagen fez tentativas de garantir pelo menos cinco anos de oferta de cobalto. Destaca-se o desafio enfrentado pelos maiores fabricantes de automóveis do mundo, enquanto tentam proteger os materiais necessários para dar o empurrão à fabricação de veículos elétricos. Em Setembro do ano passado também a BMW e a Tesla Motors tentaram o mesmo (Sanderson e Hume, 2017). Tais factos confirmam o ponto de rutura de um nicho de mercado fortemente dependente de um punhado de minas na RDC, um dos países mais empobrecidos e politicamente voláteis do continente africano. É portanto considerado um material com uma situação geoestratégica restrita e problemática.

No entanto, a Katanga Mining Ltd., da gigante suíça Glencore PLC, espera vir a produzir na RDC 34 mil toneladas até 2019, o equivalente a 40% dos suprimentos mundiais de cobalto, de acordo com os dados atuais. A empresa já estabeleceu contactos com a Volkswagen AG, com a Tesla Inc., com a Apple Inc. e vários outros fabricantes de baterias sobre a assinatura de contratos de fornecimento (Wilson, 2017). *"De muitas maneiras, a indústria de cobalto possui a estrutura de fornecimento mais frágil de todas as matérias-primas que envolvem baterias."* - referiu Andrew Miller da Benchmark Mineral Intelligence (Desjardins, 2016a).

O cobalto é um elemento crítico nas baterias de iões de lítio, que os *smartphones* e os veículos elétricos utilizam. Atualmente, 40% do cobalto é utilizado em baterias recarregáveis. É um facto de que os produtos/ inovações exigem cada vez mais baterias. Em 2019, é esperado

que 55% do total de cobalto faça parte desta causa (Desjardins, 2016a). À medida que a procura por tal tecnologia aumenta também o preço do cobalto aumentou, ou melhor mais do que duplicou. O valor do mercado de cobalto atingiu 8 mil milhões US \$ em 2016, de acordo com a Bloomberg. Sanderson (2017) refere inclusivamente que os preços subiram rapidamente no ano passado, mais de 190% nos últimos 18 meses. Na verdade, muitos analistas acreditam na existência de um “*bull market*”⁶ em cobalto ou por outras palavras que a situação política no Congo irá com certeza influenciar significativamente o preço deste material. Os compradores de cobalto procuram fontes alternativas, inclusive na Rússia, no Canadá e na Austrália (Beale, 2017).

Quanto à sua toxicidade, pode afirmar-se que o cobalto em pequena quantidade é um elemento químico essencial para numerosos organismos, incluindo os humanos. A presença de quantidades entre 0,13 e 0,30 ppm no solo melhora sensivelmente a saúde dos animais de pastoreio. O cobalto é um componente central da vitamina B12, que é essencial para a saúde humana porém as concentrações muito altas de cobalto podem prejudicar a saúde. O cobalto metálico em pó finamente tratado é tóxico. Os compostos de cobalto geralmente devem ser manipulados com cuidado devido à toxicidade do metal. Sendo o Co-60 radioativo a sua exposição ou a sua radiação podem provocar o cancro (ATSDR, 2017c). Segundo a Lenntech (2018), a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Cancro (IARC- International Agency for Research on Cancer) identificou o cobalto e compostos de cobalto, grupo 2B como agentes que são possivelmente cancerígenos para o ser humano. A ACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health) colocou os compostos de cobalto e inorgânicos na categoria A3 (cancerígeno experimental – em animais, numa porção relativamente alta, por via(s), tipo(s) histológico ou por mecanismo(s) – que apesar de tudo não são considerados relevantes para a exposição de trabalhadores. Todavia, o cobalto foi classificado como cancerígeno para animais experimentais pela República Federal da Alemanha.

Segundo a USGS (Shedd, 2018), a substituição do cobalto em algumas aplicações, resultaria numa perda no desempenho do produto. Os potenciais substitutos incluem ferritas de bário ou estrôncio, neodímio-ferro-boro ou ligas de níquel-ferro em ímans; cério, ferro, chumbo, manganês ou vanádio em tintas; cobalto-ferro-cobre ou ferro-cobre em ferramentas de diamante; cobre-ferro-manganês para curar resinas de poliéster insaturado; ferro, ferro-cobalto-níquel, níquel, ou cerâmica em materiais cortantes e resistentes ao desgaste; ferro fósforo, manganês, níquel-cobalto-alumínio ou níquel-cobalto- manganês em baterias de íões de lítio; Ligas à base de níquel ou cerâmica em motores a jato; Níquel em catalisadores de petróleo e ródio em catalisadores.

As principais aplicações de cobalto são na produção de ligas de alto desempenho, resistentes ao desgaste, utilizadas na fabricação de motores de aeronaves, ímans, catalisadores, ferramentas de trituração e corte, juntas artificiais de quadril e de joelho. Os

⁶ “*Bull market*” é um mercado financeiro de um grupo de valores mobiliários em que os preços estão a subir ou se espera que aumentem.

compostos de silicato de cobalto e aluminato de cobalto proporcionam uma cor distinta em pigmentos (azul profundo mais conhecido como azul-cobalto) para vidros, cerâmica, tintas e vernizes ou como revestimento primário de base e secante de esmalte de porcelana e tintas. Para além de utilizado nos supracitados elétrodos de baterias, surge noutras aplicações, tal como no processo de galvanoplastia pela sua aparência atraente, dureza, e resistência à oxidação (ASM, 2000). O cobalto radioativo é utilizado para fins comerciais e médicos. O Co-60 (cobalto sessenta) é especialmente utilizado para esterilizar equipamentos médicos e produtos de consumo, fazer terapia de radiação para tratamento de pacientes com cancro e na fabricação de plásticos. Já o Co-57 é aplicado na pesquisa médico-científica.

- **Cobre (Cu)**

Conhecido desde a pré-história é um dos metais industrialmente mais importantes, de coloração avermelhada, dúctil, maleável e bom condutor de eletricidade.

O ICSG (International Copper Study Group) previu que em 2016, o consumo aumentaria 1,5% e a produção global refinada de cobre aumentaria em 2,2%. No entanto a diminuição do preço médio do cobre em comparação com o ano de 2015 foi em grande parte atribuído ao abrandamento do consumo na China. O Chile, o Peru, a China e os EUA, estão entre os maiores produtores mundiais deste material.

A gerente de Programa no World Resources Forum (WRF), Sonia Valdivia, focada no papel fundamental do Chile e do Peru na produção global de cobre afirmou que a reciclagem de metais, incluindo o cobre, já não acontece apenas nos países desenvolvidos, mas também nos países em desenvolvimento. Devido a regras de execução bastante fracas, mais de 90% da reciclagem deste metal é atualmente realizada de forma pouco eficiente, um problema que o WRF terá de enfrentar (Copper Alliance, 2018). A sucata velha, convertida em metal refinado e ligas, forneceu 170 mil toneladas de cobre, o equivalente a 9% de consumo aparente. A compra de sucata nova, derivada das operações de produção, produziu 640 mil toneladas deste material. A reciclagem do cobre contribuiu com cerca de 31% do suprimento de cobre dos Estados Unidos (Brininstool, 2017b).

Uma avaliação do Inventário Geológico dos EUA de 1998 (USGS) estimou que 550 milhões de toneladas de cobre estavam contidas em recursos identificados e não descobertos nos Estados Unidos (Flanagan, 2018b). Uma avaliação global dos depósitos de cobre do USGS (2014) cujos recursos identificados contêm cerca de 2,1 mil milhões de toneladas de cobre. Os recursos não descobertos continham cerca de 3,5 mil milhões de toneladas (Brininstool, 2017b).

Todos os compostos de cobre deveriam de ser tratados como se fossem tóxicos. Uma quantidade de 30 g de sulfato de cobre é potencialmente letal em humanos. O metal em pó é combustível, inalado pode provocar tosse, dor de cabeça e dor de garganta. Recomenda-se evitar a exposição laboral e a utilização de protetores como óculos, luvas e máscaras no seu manuseamento. Os valores limites ambientais são de 0,2 mg/m³ para vapor de cobre e 1 mg/m³ para o pó. Reage com oxidantes fortes tais como cloratos, bromatos e iodatos, originando o

perigo de explosões. A água com conteúdo em cobre superiores a 1 mg/l pode contaminar as roupas e objetos lavados com ela, e conteúdos acima de 5 mg/l tornam a água colorida com sabor desagradável.

Substitutos de alumínio para cobre podem dar-se em cabos de alimentação, equipamentos elétricos, radiadores de automóveis e tubos de arrefecimento e refrigeração. O titânio e o aço são utilizados em permutadores de calor. As fibras óticas podem substituir o cobre em aplicações de telecomunicações. Os plásticos são seus substitutos em tubos de água, tubos de drenagem e acessórios de canalização (Flanagan, 2018b).

O cobre é utilizado atualmente, para a produção de materiais condutores de eletricidade (fios e cabos) e em ligas metálicas como latão e bronze. O cobre é essencial para telemóveis e veículos elétricos (EV - Electric Vehicle) entre muitos outros dispositivos EEE (Equipamentos Elétricos e Eletrónicos). É também utilizado nos motores elétricos de aparelhos domésticos (e.g. tais como máquinas de lavar roupa e loiça, frigoríficos, aspiradores); em computadores (discos, ventiladores); em sistemas de entretenimento (leitores de DVD), entre outros dispositivos e/ou setores de atividade (Cooper Alliance, 2017). À medida que novos modelos de carros são desenvolvidos e as regulamentações globais pressionam cada vez mais a adoção dos EV, o cobre tende a desempenhar um papel importante no *boom* da indústria automóvel. As estações de carregamento tornam-se mais generalizadas e acessíveis. Uma quantidade significativa de cobre será necessária para “alimentar” as inovações tecnológicas.

- **Crómio (Cr)**

O crómio ou cromo é obtido industrialmente aquecendo a cromita em presença de alumínio ou silício mediante o processo de redução. Cerca de 95% dos recursos de crómio do mundo concentram-se no Cazaquistão e África do Sul; Também se obtém em grandes quantidades na Índia e Turquia. Os recursos mundiais são maiores que 12 mil milhões de toneladas, o suficiente para colmatar necessidades por séculos, confirmou a USGS (Papp, 2017a).

O nível de crómio no ar e na água é na generalidade baixo. Não se considera que o cromo metálico seja, especialmente, um risco para a saúde. Trata-se de um elemento essencial para o ser humano, porém em altas concentrações é tóxico (referenciado pela Diretiva Europeia RoHS, *pág.113*). Os compostos de cromo (VI) são tóxicos quando ingeridos, irritam os olhos, a pele e as mucosas sendo a porção letal de alguns gramas. Em níveis não letais, o cromo (VI) (cromo hexavalente) é altamente carcinogénico. A exposição crónica a compostos de cromo (VI) pode provocar danos permanentes nos olhos, principalmente para indivíduos que trabalham na indústria têxtil e do aço (Lenntech, 2018). A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda desde 1958 uma concentração máxima de 0,05 mg/litro de cromo (VI) na água de consumo próprio.

Este material é utilizado sob a forma de produtos metalúrgicos como ferrocromo para produzir aço inoxidável. Em 2016, a China foi o principal país produtor e consumidor de crómio,

ferrocromo e o principal produtor de aço inoxidável. Os compostos de crómio são também utilizados na produção de eletroplatina, na produção de pigmentos e curtimento. Como utilizações secundárias é utilizado no processamento de tijolos refratários e em processos químicos para produzir ácidos de crómio e cromatos (Papp, 2017a).

Singerling (2018) adverte, o crómio não tem substituto em aço inoxidável, a sua principal utilização ou nas superligas. A sucata que contém crómio pode substituir o ferrocromo em algumas utilizações metalúrgicas.

- **Estanho (Sn)**

O estanho (Sn) é obtido principalmente do mineral cassiterita que se apresenta como um óxido. É conhecido como um dos metais mais antigos e foi utilizado como um dos componentes do bronze desde a antiguidade.

Os recursos de estanho identificados essencialmente no Alasca, EUA, foram insignificantes se comparados com os do resto do mundo. Os recursos mundiais, principalmente no oeste da África, no sudeste da Ásia, na Austrália, na Bolívia, no Brasil, na China, na Indonésia e na Rússia, são extensivos e se desenvolvidos, poderiam manter as taxas de produção anuais no futuro. Cerca de 12 000 toneladas de “ferro velho” de estanho foram recicladas em 2015, representando cerca de 30% de consumo aparente. Desse total, cerca de 10 mil toneladas foram recuperadas de lixo antigo e cerca de 75% de metal não ferroso secundário (Anderson, 2017).

Casos de envenenamento de metal de estanho, pelos seus óxidos e seus sais são quase desconhecidos. Por outro lado, certos compostos são quase tão tóxicos como o cianeto (Graf, 2005). Em níveis de 100 mg/m³, o estanho é imediatamente perigoso para a vida e a saúde. Pequenas quantidades de estanho encontradas em alimentos enlatados não são prejudiciais a seres humanos. Alguns compostos de estanho são biocidas e devem ser manuseados com cuidado. A exposição ao estanho no local de trabalho pode ocorrer por inalação, contato com a pele e contato com os olhos. A Administração da Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA (OSHA - Occupational Safety & Health Administration) e o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health) definiram o REL (Limite de Exposição Recomendado) para a exposição ao estanho no local de trabalho como 2 mg / m³ durante uma jornada de trabalho de 8 horas (CDC, 2016a).

Em 2006, cerca de metade de todo o estanho produzido foi utilizado para a solda. O resto foi distribuído entre o fabrico de chapa, produtos químicos de estanho, latão e ligas de bronze, entre outras aplicações (ITRI, 2007). O alumínio, o vidro, o papel, o plástico ou aço isento de estanho já são substitutos do material em questão em latas e recipientes. Outros materiais que substituem o estanho são resinas epóxis para solda ou ligas de alumínio e cobre referiu a USGS. (Anderson, 2017). O estanho pode ser substituto de alumínio, de vidro, papel, plástico ou aço isento de estanho em latas e recipientes. Outros materiais que substituem o estanho são resinas epóxis para solda; ligas de alumínio, ligas de cobre, compostos de chumbo e sódio, para alguns produtos químicos de estanho (Anderson, 2018d).

- **Estrôncio (Sr)**

É abundante na natureza na forma de sulfatos e carbonatos. O estrôncio ocorre comumente na natureza, formando cerca de 0,034% de toda a rocha ígnea e na forma do sulfato de estrôncio (SrSO_4) e do carbonato de estrôncio (SrCO_3). O sulfato de estrôncio ocorre com frequência em depósitos sedimentares de tamanho suficiente. As principais áreas de mineração são no Reino Unido, no México, na Turquia e Espanha. Julga-se que os recursos mundiais do estrôncio possam exceder 1 000 milhões de toneladas (Singerling, 2017).

O estrôncio está sempre presente no ar como pó até um certo nível, concentrações estas aumentadas pelas atividades humanas, como a combustão de carvão e petróleo, cinzas provenientes de incineradoras e resíduos industriais. Os compostos de estrôncio podem-se mover pelo meio ambiente com bastante facilidade, porque muitos deles são solúveis em água instalando-se em águas superficiais, solos ou na superfície sendo depois absorvidos pelas plantas.

Anteriormente a principal aplicação do estrôncio era em cristais para tubos de raios catódicos de televisores a cores. Outros compostos de estrôncio são utilizados na fabricação de cerâmicas, produtos de vidro, pigmentos para pintura (cromato), lâmpadas fluorescentes (fosfato), e medicamentos na forma de cloreto e peróxido.

O estrôncio metálico (elementar) ou estrôncio puro é extremamente reativo e entra em combustão espontânea na presença do ar atmosférico, pelo qual pode ser considerado um agente causador de incêndio. Em geral, os compostos solúveis em água são uma ameaça maior para a saúde humana do que os insolúveis em água. Um dos isótopos do estrôncio é radioativo. Os compostos de estrôncio podem tornar-se solúveis em água, como resultado de reações químicas. O ser humano também pode ser exposto a pequenos níveis de estrôncio (radioativo) respirando ar ou poeira, comendo alimentos, bebendo água ou pelo contato com o solo que contém estrôncio. Este isótopo provavelmente não ocorrerá naturalmente no meio ambiente. Contudo, acaba por aparecer, como resultado de outras atividades humanas, como testes de bombas nucleares e vazamento de armazenamento radioativo. O corpo humano absorve o estrôncio, assim como o cálcio. Como os elementos são quimicamente muito semelhantes, os isótopos estáveis de estrôncio não representam uma ameaça significativa para a saúde mas o Sr-90 radioativo acumula-se no corpo, prolongando a exposição à radiação e causando vários distúrbios, incluindo cancro dos ossos (Lenntech, 2018). O humano médio tem uma ingestão de cerca de dois miligramas de estrôncio por dia (Emsley, 2011). A utilização de ranelato de estrôncio em fármacos ajuda ao crescimento ósseo, aumenta a densidade óssea e diminui a incidência de fraturas vertebrais, periféricas e da anca. (Meunier *et al.*, 2004; Reginster *et al.*, 2005). Por outro lado, aumenta o risco de doenças mais graves, incluindo enfarte do miocárdio.

Consumindo uma elevada percentagem da produção, o principal uso para o estrôncio era em vidro para tubos de raios catódicos de televisão a cores (CRT), em que impedia a emissão de raios X (EPA, 1999). Esta aplicação para o estrôncio está em declínio porque os CRT estão a

ser substituídos devido aos avanços em tecnologias de ecrã plano, que ainda assim requerem quantidades menores de carbonato de estrôncio.

O estrôncio é ainda utilizado em ímãs de ferrite (óxido de ferro combinado com um dos elementos metálicos) ou em processos de refinação de zinco. O elemento também pode gerar eletricidade para veículos espaciais, estações meteorológicas remotas e boias de navegação. O cloridrato de estrôncio hexahidratado é um ingrediente na pasta de dentes para dentes sensíveis, de acordo com a Royal Society of Chemistry (RSC).

Em 2014, a Comissão Europeia designou oficialmente 9 produtos químicos, como substâncias de grande preocupação. O regulamento colocava os produtos químicos na lista do Anexo 14 do regulamento de registo, avaliação e autorização de produtos químicos (REACH) (EC 1907/2006). A listagem no Anexo 14 significa que a substância não pode ser utilizada sem autorização específica. Entre os 9 produtos químicos encontrava-se o cromato de estrôncio (CE No. 232-142-6, CAS No. 7789-06-2), que é fabricado ou importado para a União Europeia. O cromato de estrôncio é utilizado principalmente para proteger o aço e o zinco em aço galvanizado revestido por bobina, afirmou a ECHA (European Chemical Agency). O metal revestido é usado principalmente em edifícios. As suas aplicações são generalizadas porém quantidades muito menores de cromato de estrôncio são utilizadas em cápsulas, vedantes, compostos articulares e tintas de revestimento superior para aplicações aeroespaciais e em invólucros anticorrosivos, em enchimentos e vedantes para a construção e manutenção de veículos pesados e camiões, veículos militares e equipamentos agrícolas, referiu a ECHA. As aplicações que podem ser afetadas pelos requisitos de autorização são generalizadas (Rizzuto, 2014). A sua utilização está agora mais restrita (GOV.UK, 2014).

O bário pode ser substituído por estrôncio em ímãs cerâmicos de ferrite. A substituição do estrôncio em pirotecnia é complicada pela dificuldade em obter o brilho desejado e a visibilidade conferida pelo estrôncio e seus compostos (Singerling, 2018e).

- **Ferro (Fe)**

O ferro metálico ou nativo é raramente encontrado na superfície da Terra porque tende a oxidar-se, mas seus óxidos são penetrantes e representam os minérios primários. É o 4º elemento mais abundante da crosta terrestre e, entre os metais, somente o alumínio é mais abundante. É igualmente um dos elementos mais abundantes do Universo. Embora represente cerca de 5% da crosta da Terra, acredita-se que o núcleo interno e externo da Terra consista em grande parte numa liga de ferro-níquel que represente 35% da massa da Terra como um todo (Morgan e Anderson, 1980). O núcleo da Terra é formado principalmente por ferro e níquel (NiFe). O ferro é também encontrado em numerosos minerais.

O ferro em excesso é tóxico. A porção letal de ferro em crianças de 2 anos é de 3g. 1g pode provocar um envenenamento importante. O ferro em excesso acumula-se no fígado, provocando danos neste órgão. A inalação de concentrações excessivas de óxido de ferro pode

aumentar o risco de problemas de saúde, inclusive de desenvolvimento de cancro do pulmão. (Lenntech, 2018)

O ferro é o metal mais acessível e o mais utilizado de todos os metais, com 95% em peso da produção mundial de metal. O seu baixo custo e alta resistência tornam-no indispensável em aplicações de engenharia, como a construção de máquinas-ferramentas, pontes, automóveis, cascos de grandes navios e componentes estruturais para edifícios. Como o ferro puro é bastante macio, é mais comum combinado com elementos de liga para fazer aço. A produção de ferro ou aço é um processo que consiste em duas etapas principais. Na primeira fase, o ferro-gusa é produzido num alto forno. Alternativamente, pode ser reduzido diretamente. Na segunda etapa, o ferro gusa é convertido em ferro forjado, aço ou ferro fundido (Greenwood e Earnshaw, 1997). O minério de ferro primário é utilizado diretamente ou convertido em briquetes, concentrados, na produção de DRI (Direct Reduced Iron), *nuggets* de ferro, *pellets* ou para sinterização. O DRI, os *nuggets* de ferro e a sucata são amplamente utilizados para a fabricação de aço em fontes de arco elétrico e em fundições de ferro e aço.

Na maioria das aplicações, o ferro compete com materiais não metálicos menos dispendiosos ou com materiais mais caros que possuem uma vantagem de desempenho. (Fenton, 2017; *Ibidem*, 2018). Todavia é indispensável devido ao seu baixo custo e dureza, especialmente quando aplicado em automóveis, barcos e componentes estruturais como em edifícios.

- **Gálio (Ga)**

O gálio ocorre em concentrações muito pequenas em minérios de outros metais. A maioria do gálio é produzida como um subproduto do processamento da bauxite, e o restante é produzido a partir de resíduos de processamento de zinco, carvão, diáspora, germanita e esfalerita e como subproduto em processos de obtenção de vários metais. Portanto, uma estimativa de reservas não é possível. O teor médio de gálio da bauxite é de 50 partes por milhão (ppm).

Jaskula (2017b) refere que o gálio contido em recursos mundiais de bauxite está estimado em mais de 1 milhão de toneladas e que uma quantidade considerável pode ser contida nos recursos mundiais de zinco. No entanto, menos de 10% do gálio em recursos de bauxite e zinco é potencialmente recuperável. Ou seja a recuperação de gálio (nos EUA) a partir de depósitos de bauxite que geralmente não são adequados para a produção de alumina devido ao alto teor de sílica, é por isso pouco provável. Alguns minérios de zinco contêm até 50 ppm de gálio e podem ser um recurso significativo, no entanto atualmente, os EUA não o fazem desta forma, mencionou a USGS.

O gálio pode ser usado para fabricar espelhos formando uma superfície brilhante e altamente reflexiva quando revestida em vidro. É um material que liga facilmente com a maioria dos metais, por isso é utilizado para formar ligas com ponto baixo de fusão. Os circuitos integrados analógicos são a aplicação mais comum para o gálio. Possui igualmente propriedades semicondutoras, especialmente como arsenieto de gálio (GaAs - Gallium Arsenide). Isso pode

converter eletricidade em luz sendo utilizado em díodos emissores de luz (LEDs), para exibição eletrónica e relógios. O gálio é também aplicado em alguns termómetros de alta temperatura. O gálio é utilizado na manutenção em alguns poços nucleares. Este assunto algo pontual e controverso para o meio ambiente envolve o gálio, armas nucleares e poluição. Quando os poços são encerrados e o pó de óxido de plutónio se forma, o gálio permanece no plutónio. Enquanto combustível este fica inutilizável porque o gálio é corrosivo para vários outros elementos. Se entretanto o gálio for removido o plutónio torna-se útil novamente. O problema é que o processo para remover o gálio contribui para uma grande quantidade de poluição da água com substâncias radioativas. O gálio é um elemento ideal para utilizar nos poços de bomba, mas a poluição que provoca é destrutiva para a terra e para a saúde de seus habitantes. Mesmo que fossem feitos esforços para remover a poluição da água, isso aumentaria significativamente os custos do processo de transformar o plutónio em combustível em cerca de 200 milhões de dólares. Os cientistas estão a trabalhar num outro método para limpar o plutónio, mas pode demorar anos até ser alcançado. (Lenntech, 2018).

Ao toque, o gálio puro não é uma substância prejudicial para o ser humano, no entanto deixa rastro por onde passa na pele (Lenntech, 2018). Mesmo o composto radioativo de gálio, citrato de gálio [^{67}Ga], pode ser injetado no corpo sem efeitos propriamente nocivos. Embora não seja prejudicial em pequenas quantidades, o gálio não deve ser propositadamente consumido em grande porção, como a generalidade dos materiais. Contudo, alguns compostos de gálio podem ser muito perigosos. Por exemplo, a exposição aguda ao cloreto de gálio (III) pode causar ocorrências moderadas ou graves.

O gálio é aplicado desde lasers a players *Blu-Ray*. Os cristais líquidos feitos a partir de compostos orgânicos são usados em *displays* visuais como substitutos de LEDs. Os amplificadores de potência de semicondutores de óxido de metal complementares baseados em silício competem com os amplificadores de potência (GaAs) nos celulares 3G de médio porte. O silício é o principal concorrente (com GaAs) em aplicações para células solares, referiu Jaskula (2018b). Os IC (Integrated Circuit) baseados em GaAs são usados em muitos aplicativos relacionados à defesa devido às suas propriedades únicas e não existem substitutos efetivos para GaAs nessas aplicações.

- **Índio (In)**

É um material pouco abundante, maleável, facilmente fundível, quimicamente similar ao alumínio e gálio, porém mais parecido com o zinco. A principal fonte de obtenção do índio provém das minas de zinco. O aumento da eficiência de produção e reciclagem (especialmente no Japão) mantém o equilíbrio entre a procura e o fornecimento (Tolcin, 2017b).

Até 1924 só havia um grama do elemento isolado no mundo. Estima-se que a crosta terrestre tem aproximadamente 0,1 ppm de índio (tão abundante quanto a prata). O conteúdo de depósitos de zinco a partir do qual este é recuperado, varia de menos de 1 ppm para 100 ppm (Anderson, 2018a). O principal produtor de índio é o Canadá.

Foi utilizado durante a Segunda Guerra Mundial como revestimento em motores de alto rendimento de aviões. Depois da guerra foi destinado a novas aplicações: em ligas metálicas, em soldas e na indústria eletrónica. Na década de 1980 despertou o seu interesse no uso de fosfatos de índio semicondutores e películas delgadas de óxidos de índio e estanho para desenvolvimento de ecrãs de cristais líquidos (LCD), contudo já tem substitutos no que toca aos ecrãs tradicionais, aos ecrãs tácteis, nas células e painéis solares, chips de computador, em displays flexíveis, entre outros.

Existem dados insuficientes sobre o efeito desta substância sobre a saúde humana, portanto, o máximo cuidado deve ser tomado. Este material não tem propriamente um papel biológico, contudo em pequenas porções, estimula o metabolismo. Todos os compostos de índio devem ser considerados altamente tóxicos. Os compostos de índio danificam o coração, rim e fígado e podem ser teratogénicos⁷.

Como é certo que o índio não está amplamente disperso no meio ambiente, em princípio não representa uma ameaça à terra ou à vida marinha, contudo os efeitos ambientais da substância não foram investigados (Lenntech, 2018).

Segundo dados da USGS (Anderson, 2018a), os revestimentos de óxido de estanho-antimónio foram desenvolvidos como uma alternativa aos revestimentos de ITO (Indium Tin Oxide) em LCDs e foram recozidos com sucesso para aplicações em vidro LCD, células solares e ecrãs sensíveis ao toque; Os revestimentos de nanotubos de carbono são igualmente uma alternativa aos revestimentos de ITO; O PEDOT [poly (3,4-ethylene dioxythiophe-ne)] também foi desenvolvido como um substituto para ITO em exposições flexíveis e díodos emissores de luz orgânicos; Os nano-fios de prata foram explorados como um substituto para ITO em ecrãs sensíveis ao toque. O grafeno⁸ foi desenvolvido para substituir elétrodos ITO em células solares e também foi explorado como um substituto para ITO em ecrãs sensíveis ao toque. Os investigadores desenvolveram um nano-polar de nano-protexido de zinco mais adesivo para substituir ITO em LCDs. O arsenieto de gálio pode substituir o fosforeto de índio em células solares e em muitas aplicações de semicondutores. O háfnio⁹ pode substituir o índio em ligas de haste de controlo em reatores nucleares.

- **Lítio (Li)**

Como todos os metais alcalinos, o lítio reage facilmente na água e não ocorre livremente na natureza devido à sua atividade, o lítio é um elemento moderadamente abundante e está presente na crosta da Terra em 65 ppm (partes por milhão). Tal facto situa o

⁷ Referente a anomalias e mal formações do corpo humano.

⁸ O grafeno é uma das formas cristalinas do carbono. Sendo de alta qualidade, costuma ser muito forte, leve, quase transparente e um excelente condutor de calor e eletricidade.

⁹ O háfnio (Hf) é um metal dúctil, brilhante, prateado e resistente à corrosão e quimicamente muito similar ao zircónio. Forma ligas com o tungsténio usadas em filamentos de lâmpadas e em elétrodos. Também se usa como material de barras de controlo de reatores nucleares devido a sua alta capacidade de absorção de neutrões.

lítio abaixo do níquel, do cobre, sobre o cério e o estanho, referindo-se à abundância (Lenntech, 2018).

Por causa da sua elevada reatividade, o lítio (Li) não ocorre no seu estado nativo, sendo encontrado na maioria das vezes na condição de composto químico iónico. O lítio ocorre em numerosos minerais (pegmatitos) devido a sua solubilidade iónica e está presente na água do mar, sendo, geralmente, obtido na forma de salmoura e através das argilas. À escala industrial, o lítio é isolado via eletrólise (mistura de cloreto de lítio e cloreto de potássio).

O lítio é extraído em seis continentes. Mesmo que o mercado triplique, existem reservas no solo estimadas em 185 anos, estima o Deutsche Bank (Shanlleman *et al.*, 2017) pelo que a sua situação geoestratégica é desafogada. Só em Portugal, foram detetadas em fevereiro do ano passado, a existência de jazidas estimadas em 10,3 megatoneladas (milhões de toneladas de rocha (pegmatito) com concentrações de 1% de óxido de lítio e de 0,05% de estanho. *“Cepeda representa agora o maior recurso de lítio num depósito de lítio-césio¹⁰-tântalo em pegmatite”*, argumentaram. A empresa responsável pela a prospeção de lítio em Trás-os-Montes é australiana, a Dakota Minerals (com um complexo de extração e uma fábrica para processamento de compostos de lítio para o fabrico de baterias a utilizar na indústria automóvel e no armazenamento de eletricidade em casa, para autoconsumo) e já confirmou a descoberta de uma das maiores reservas daquele mineral da Europa, que deverão garantir mais de dez anos de vida útil à exploração (Gomes, 2017a; *Ibidem*, 2017b).

Um processo para a concessão de uma exploração mineira na Serra da Argemela perto do rio Zêzere, entre os concelhos da Covilhã e Fundão em Portugal, foi iniciado em 2011, sendo que no início de 2017 foi publicado o pedido de atribuição de concessão por parte de uma empresa privada. *“As preocupações são reais quanto à contaminação dos lençóis freáticos, dos cursos de água e dos solos agrícolas, (...) uma exploração em socacos, com recurso a explosivos e processamento de minerais com substâncias tóxicas”*, argumentou Vítor Pereira, o autarca covilhanense. A Quercus alertou para os perigos ambientais e de saúde pública da referida concessão, que englobaria uma área de 403 hectares e cujo projeto prevê a exploração e tratamento de depósitos de minerais a céu aberto de materiais como o lítio, mas também de tântalo, nióbio, volfrâmio, rubídio, cobre, chumbo, zinco, ouro, prata, cério, escândio¹¹ e pirites (Agência Lusa, 2018). A esta possível concessão obrigará a existência de estudo de

¹⁰ O cério (Cs) é um dos cinco metais elementares (como o gálio e o mercúrio) que se podem encontrar à temperatura ambiente (estado líquido). É utilizado em aplicações eléctricas, electrónicas e químicas. O cério está associado a pegmatites portadoras de lítio em todo o mundo e os seus recursos foram identificados nos Estados Unidos, Canadá, Namíbia e Zimbábue. Concentrações mais baixas também são conhecidas em salmoura no Chile e na China e em sistemas geotérmicos na Alemanha, Índia e Tibete. Acredita-se que a China tenha depósitos ricos em cério. Embora não existam estimativas de recursos ou produção mundiais disponíveis (Tuck, 2018). Embora o elemento apresente uma ligeira toxicidade, é considerado um metal perigoso, e os seus radioisótopos apresentam um risco para a saúde se libertados no ambiente. O Cs-137 (pequenas porções) é perigoso à saúde humana por causar infertilidade e cancro.

¹¹ O escândio (Sc) é classificado como metal de transição. As suas propriedades são parecidas com as do ítrio, actínio e os lantanídeos, por isso, são incluídos frequentemente entre as terras raras. É encontrado em alguns minerais na Escandinávia. O escândio é utilizado na produção de lâmpadas de vapor de mercúrio, em aplicações na aeronáutica e aeroespaciais. A abundância da crosta do escândio é maior que a do chumbo.

impacto ambiental *“onde todas as questões devem ser avaliadas e propostas as medidas de minimização e compensação de eventuais impactos negativos”*, referia a resposta do gabinete do ministro da economia português (Agência Lusa, 2017).

Pequenas quantidades de lítio estão presentes em todos os organismos. O elemento possui funções de regulação endócrina, estando a sua deficiência ligada à infertilidade.

O lítio metálico reagirá com nitrogénio, oxigénio e vapor de água no ar. Consequentemente, a superfície de lítio é revestida com uma mistura de nitrato de lítio e hidróxido de lítio. Este último representa um risco potencialmente significativo porque é extremamente corrosivo, podendo afetar os olhos, a pele as vias respiratórias e se for ingerido causa graves problemas. Deve ser dada especial atenção aos organismos aquáticos (Lenntech, 2018).

O lítio e seus compostos têm diversas aplicações industriais, incluindo vidros e cerâmicas com resistência ao calor, ligas com alta força específica resistência-peso utilizadas em aeronaves e baterias de lítio /iões-lítio - mais da metade da produção de lítio é consumida para este fim (Lithio Storage, 2017). As vendas globais de veículos elétricos cresceram 63% em 2017, estimadas em mais de um milhão. Consequentemente, a procura por baterias de iões de lítio deverá aumentar até sete vezes na próxima década. Os valores de outros elementos utilizados nas baterias, como o níquel e o cobalto também estão a aumentar.

A tecnologia móvel e um futuro com baixo teor de carbono são impensáveis sem baterias, um dos principais fatores tecnológicos da Quarta Revolução Industrial. O mercado de baterias de iões de lítio - o segmento de mercado de baterias com mais forte crescimento - aumentou 15% (CAGR - Compound Annual Growth Rate) entre 2005 e 2015 e estima-se que o mercado global de baterias assista a um crescimento contínuo de US \$ mil milhões para um tamanho de US \$ 100 mil milhões em 2025 (World Economic Forum, 2017). Aproxima-se um grande desafio de reciclagem se tivermos em conta uma economia circular para baterias...pelos onze milhões de toneladas de baterias de iões de lítio que se prevê serem rejeitadas até 2030, relativamente aos poucos sistemas que permitam uma eficiente reutilização e reciclagem.

A China, o maior mercado de automóveis do mundo, está a acelerar o processo de modo a parar a produção e venda de veículos alimentados por combustíveis fósseis. Prevendo-se um início à produção de carros elétricos até 2030, colocará um *stress* orçamental considerável nos principais países produtores de petróleo e mudará o mapa geopolítico. Eles também afirmam que a geopolítica do lítio, que juntamente com o níquel, o cobalto e o cádmio, é a chave para os veículos elétricos, são inteiramente diferentes da política do petróleo (Dia, 2017). Embora exista um potencial de interrupção do fornecimento, o lítio não é tão crítico quanto o óleo na vida de um carro. Na indústria de veículos elétricos o lítio é necessário somente para construir a bateria, enquanto o óleo é um combustível necessário para operar um veículo com motor de combustão interna. No entanto a escassez de lítio afetaria a produção de novos veículos. Não ter lítio é como não ter um novo motor; A frota existente ainda pode operar durante anos. O

petróleo é essencial para operar a frota existente; assim, o petróleo é uma parte muito mais crítica da cadeia de valor (Arbib e Seba, 2017). A Federação das Indústrias da Alemanha (BDI), já alertou que a indústria automóvel germânica corre o risco de começar a ver escassear as principais matérias-primas para fabrico das baterias, dificultando assim o desejado impulso que tanto políticos como construtores querem dar ao veículo elétrico (António, 2017). *“O risco de nos depararmos com escassez de matérias-primas para as baterias tem vindo a aumentar, devido ao facto da procura estar a crescer mais do que a capacidade de produção”*, afirmou o responsável máximo pela segurança e matérias-primas na BDI, Matthias Wachter, em declarações publicadas no diário alemão Welt am Sonntag.

Marcas reconhecidas pelo público em geral já lançaram modelos elétricos e os que ainda não o fizeram vão fazê-lo (Dia, 2017) como a Volvo, a Jaguar, a Land Rover, a Volkswagen, a Mercedes, a Audi, BMW entre outras. A combinação de tecnologias compartilhadas, como os carros elétricos e a condução autónoma convergem para perturbar o ecossistema de mobilidade (Seba, 2017). Perante alguns cenários de escassez, fornecedores de matérias-primas, como a belga Umicore ou o grupo americano Retrie Technologies, falam já em começar a aproveitar as matérias-primas de baterias mais antigas, para atenuar a já esperada escassez (António, 2017).

Observam-se alianças estratégicas entre empresas de tecnologia e empresas de exploração para assegurar um fornecimento confiável e diversificado de lítio para satisfação de fornecedores de baterias e fabricantes de veículos. O lítio é atualmente extraído de hard rock na Austrália e de salmoura nos desertos da América do Sul (Sanderson, 2017), na Argentina, Bolívia, Chile, assim como na China e nos Estados Unidos; Em desenvolvimento realizaram-se minerações no Canadá, China e Finlândia e procuram-se novos locais de exploração (Jaskula, 2017). Devido à sua contínua exploração, os recursos de lítio aumentaram substancialmente em todo o mundo, porque também à procura e descoberta.

A substituição de compostos de lítio é possível em baterias (utilizando cálcio, magnésio, mercúrio e zinco como material ânodo em baterias primárias); fluxos sódicos e potássicos na fabricação de cerâmica e vidro (Jaskula, 2018c).

- **Magnésio (Mg)**

É o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre, onde constitui cerca de 2,5% da sua massa (Railsback, 2017), e conhecido como o nono no Universo (Ash, 2005). Não é encontrado livre na natureza, porém entra na composição de mais de 60 minerais, sendo os mais importantes (industrialmente) os depósitos de dolomita, magnesita, brucita, carnallita, serpentina, kainita e olivina.

Os recursos dos quais o magnésio pode ser recuperado variam entre vasto a praticamente ilimitado e são generalizados globalmente, referiu a USGS. Os recursos de

evaporite-magnésio¹² são enormes. Calcula-se que as emulsões de magnésio constituem um recurso em mil milhões de toneladas, e o magnésio pode ser recuperado da água do mar ao longo das costas mundiais (Bray, 2018b).

O magnésio é extremamente inflamável, especialmente quando pulverizado. Reage rapidamente, com libertação de calor em contato com o ar, motivo pelo qual deve ser manipulado com precaução.

O magnésio não foi testado, mas não é suspeito de ser cancerígeno, mutagénico ou teratogénico. Não há evidências de que o magnésio produza envenenamento sistémico, embora a persistência em excesso na adoção de suplementos de magnésio e remédios possa causar fraqueza, letargia e confusão. O pó de magnésio apresenta aparentemente baixa toxicidade e não é considerado perigoso para a saúde, apesar de poder irritar os olhos e trato respiratório. A exposição ao fumo de óxido de magnésio após a queima, soldagem ou trabalho de metal fundido e a ingestão pode causar problemas de saúde (Lenntech, 2018).

Os compostos de magnésio principalmente o seu óxido, são utilizados na indústria como material refratário em fornos para a produção de ferro e aço, metais não ferrosos, cristais e cimento. Os compostos de magnésio são também aplicados na agricultura, como auxiliar condicionante da fotossíntese.

O alumínio e o zinco podem substituir o magnésio em peças fundidas e produtos forjados. O peso relativamente leve do magnésio é uma vantagem em relação ao alumínio e ao zinco em peças fundidas e produtos forjados na maioria das aplicações; Todavia, o seu alto custo é uma desvantagem em relação a esses substitutos. Para a dessulfuração de ferro e aço, o carboneto de cálcio pode ser usado em vez de magnésio (Bray, 2018b).

- **Manganês (Mn)**

O manganês, manganés, ou manganês é o 12º elemento mais abundante da crosta terrestre e seus principais minérios são a pirolusita e a rodocrosita. As maiores jazidas estão localizadas na África do Sul, Ucrânia, Brasil, Austrália, Índia, China e Gabão.

Os recursos de manganês terrestres são vastos, mas encontram-se irregularmente distribuídos. Corathers (2018b) afirmou que os que se encontram localizados nos Estados Unidos são fracos e têm custos de extração potencialmente elevados. A África do Sul representa cerca de 78% dos recursos de manganês identificados no mundo, e a Ucrânia representa cerca de 10%.

Em comparação com outros metais essenciais, é um dos elementos metálicos menos tóxicos do ponto de vista nutricional, não sendo conhecida toxicidade natural em alimentos (Hammond, 2004). O estudo de efeitos toxicológicos do manganês é recente e de difícil análise

¹² *Evaporite, qualquer um de uma variedade de minerais individuais encontrados em depósitos sedimentares de sais solúveis que resultam da evaporação da água. Os minerais mais importantes e a sequência em que se formam incluem calcita, gesso, anidrita, halite, polialito e finalmente, sais de potássio e magnésio.*

por envolver os gânglios da base no cérebro, inacessíveis por métodos de pesquisa convencionais. Todavia a sua toxicidade é bem estabelecida (Alessio *et al.*, 2007). Os compostos de manganês são menos tóxicos do que os de outros metais comuns, como o níquel e o cobre (Hassan, 2008). No entanto, a exposição a poeiras e fumos de manganês não deve exceder o valor máximo de 5 mg / m³ mesmo por períodos curtos devido ao seu nível de toxicidade (Environmental Writers.Org, 2006). O envenenamento de manganês tem sido associado a habilidades motoras prejudicadas e distúrbios cognitivos (RAIS, 1995). A inalação de compostos (e.g. em atividades de extração de minérios) tem efeito sobre o sistema nervoso central, mesmo em pequenas concentrações após exposição por longos períodos. O manganismo, condição resultante da intoxicação pelo elemento, pode provocar entre outros efeitos colaterais a anorexia, apatia, insónia e até mesmo alucinações (Gad, 2005). Em alguns casos podem ser observados também efeitos colaterais semelhantes à síndrome de Parkinson (Gerber *et al.*, 2002). Testes de laboratório indicam que compostos com manganês possuem potencial mutagénico, tendo sido observados danos à integridade da cadeia e diminuição da fidelidade de replicação do ADN.

É utilizado em ligas principalmente na do aço e também para a produção de pilhas.

Corathers (2018b) advertiu que o manganês não possui substituto satisfatório nas suas principais aplicações. Em pequenas aplicações (e.g. na fosforação de manganês), o zinco e às vezes o vanádio, são substitutos viáveis.

- **Mercurio (Hg)**

O minério mais importante de mercúrio (Hg) é o cinábrio cujas maiores reservas minerais são encontradas em Espanha e na Eslovénia, nas minas de Almadén (desativada em 2003) e Idrija respetivamente, classificadas como património mundial do mercúrio pela UNESCO (2012).

A China, o Quirguistão, o México, o Peru, a Rússia, a Eslovénia, a Espanha e a Ucrânia possuem a maioria das 600 mil toneladas estimadas de recursos de mercúrio no mundo afirmou a USGS. O México reclama o mercúrio dos resíduos espanhóis de mineração de prata colonial. Nos Estados Unidos, há ocorrências de mercúrio no Alasca, Arkansas, Califórnia, Nevada e Texas; no entanto, o mercúrio é extraído como principal produto mineral desde 1992. O consumo decrescente de mercúrio, com exceção da mineração de ouro em pequena escala, indica que esses recursos são suficientes por séculos de uso (George, 2018b).

O mercúrio é um metal pesado que, sob condições normais, é encontrado em baixas concentrações no ambiente. A contaminação ambiental por mercúrio é resultado de ações antrópicas (ação humana) que envolvem este elemento como efluentes industriais (fabricação de soda cáustica) e na mineração do ouro, o que provoca a contaminação de muitos afluentes e rios. Recordo um caso clássico de intoxicação por mercúrio ocorrido na cidade de Minamata, Japão em 1953, quando 79 pessoas morreram em consequência da intoxicação por mercúrio. As causas só viriam a ser descobertas três anos mais tarde, quando as autoridades japonesas

descobriram que uma indústria local utilizava um composto de mercúrio, e que os resíduos ao atingir a baía de Minamata, incorporavam a cadeia alimentar dos peixes e consequentemente do Homem. Nos últimos 36 anos, dos 2 252 pacientes que foram oficialmente reconhecidos, 1043 faleceram (Gebrim, 2013; Harada, 1995).

Para além disso, existe a problemática da contaminação dos solos devido ao despejo incorreto de resíduos que contêm mercúrio, assim como as queimadas de grandes áreas florestais, as quais também são apontadas em diversos relatórios de entidades preocupadas com o meio ambiente (SDSN, 2013; UNEP, 2013). A patofisiologia da toxicidade do mercúrio pode levar à interrupção do metabolismo e da função celular. O mercúrio geralmente é uma toxina protoplásmica. A intoxicação por mercúrio implica problemas no trato digestivo, nervoso, respiratório (vapor de mercúrio), muscular, entre outros (Costa e Rohlfs, 2010; Ruppenthal, 2013).

É normalmente utilizado em produtos químicos e derivados, que incluem catalisadores, produtos médico/farmacêuticos, instrumentos de medidas (como termómetros e barómetros), produtos químicos agrícolas, instrumentos elétricos e eletrónicos; lâmpadas fluorescentes, entre outros.

George (2018b) menciona os compósitos cerâmicos como substitutos da amálgama dentária contendo mercúrio escuro. Uma liga de gálio, índio e estanho denominada “galistan”, substituindo o mercúrio utilizado em termómetros de mercúrio tradicionais assim como os termómetros digitais vieram por sua vez substituir os convencionais. As LEDs que contêm índio vieram substituir as lâmpadas fluorescentes contendo mercúrio. As baterias de lítio, níquel-cádmio e zinco-ar¹³ substituem as baterias de mercúrio-zinco nos Estados Unidos. Os compostos de índio substituem o mercúrio em pilhas alcalinas e os compostos orgânicos foram substituídos por fungicidas com mercúrio em tinta látex.

- **Nióbio (Nb)**

O elemento nunca foi encontrado livre na natureza. (Nowak e Ziolek, 1999). Estima-se que o nióbio seja o 34º elemento mais abundante da Terra, com concentração de 20 ppm (Emsley, 2001). Alguns pensam que a abundância do nióbio no planeta é muito maior, porém não é possível encontrar mais fontes dos elementos porque este está no núcleo terrestre devido à sua elevada densidade (Patel e Khul’ka, 2001). Os minérios com nióbio também contêm tântalo.

As primeiras aplicações comerciais deste elemento datam do início do século XX. O Brasil é historicamente o primeiro produtor mundial de ferro-nióbio (uma liga de nióbio e ferro) e de nióbio (Alvarenga, 2013). A maioria dos recursos identificados pelo mundo ocorre como

¹³ As baterias de ar de zinco (não recarregáveis) são baterias de metal-ar alimentadas por óxido de zinco-oxigénio. Estas baterias têm altas densidades de energia e são relativamente baratas de produzir. Os tamanhos variam de células de botão (como as utilizadas em aparelhos auditivos), para baterias maiores utilizadas em câmaras substituindo as baterias de mercúrio anteriormente utilizadas assim como para baterias de maior escala usadas para propulsão de veículos elétricos.

pirocloro na carbonatita (rochas ígneas que contêm mais de 50% por volume de minerais de carbonato) e estão fora dos Estados Unidos. Este país possui aproximadamente 150 mil toneladas de nióbio em recursos identificados (Papp, 2017b). Os recursos mundiais de nióbio são mais do que suficientes para fornecer as necessidades (Polyak, 2018b).

O nióbio é utilizado para a produção de ligas resistentes a altas temperaturas e aços inoxidáveis especiais. As ligas de nióbio são usadas em implantes cirúrgicos porque não reagem com o tecido humano (Vilaplana e Romaquera, 1998). A estabilidade térmica das superligas que contêm nióbio é importante para a produção de motores dos aviões, na propulsão de foguetes, jatos, mísseis, ferramentas de corte, tubulações, super ímãs e em vários materiais supercondutores. Outras aplicações incluem a soldadura, a indústria nuclear (reatores nucleares), a eletrônica, a ótica, a numismática e a produção de jóias. Nestas duas últimas aplicações ele é utilizado pela sua baixa toxicidade e pela possibilidade de coloração por anodização.

Desconhece-se um papel biológico relacionado ao nióbio. A poeira deste elemento pode irritar os olhos, as vias respiratórias e a pele e pode apresentar riscos de entrar em combustão. Porém, grosso modo o nióbio é fisiologicamente inerte (portanto hipoalergénico) e inofensivo, não existindo relatos de intoxicação humana. Não foram identificados efeitos ambientais negativos (Lenntech, 2018).

Os seguintes materiais podem ser substituídos por nióbio, mas pode ocorrer uma perda de desempenho ou um custo maior advertiu Polyah (2018b): molibdénio e vanádio, como elementos de liga em aços de baixa liga de alta resistência; tântalo e titânio, como elementos de liga em aços inoxidáveis e de alta resistência; em cerâmica, molibdénio, tântalo e tungsténio em aplicações de alta temperatura.

- **Níquel (Ni)**

É suposto que o níquel ocorra em abundância no núcleo terrestre, formando ligas metálicas com o ferro. Baseado em estudos e evidências geofísicas, este material é encontrado em diversos minerais, em meteoritos (formando liga metálica com o ferro) e supõe-se que exista no núcleo da Terra.

São produtores de níquel, países como a China, o Brasil, Cuba, Porto Rico e a Rússia. As minas da Austrália, do Canadá e da Nova Caledónia (na Oceânia), produzem mais de metade do níquel globalmente consumido. As Filipinas, o principal produtor mundial de minério de níquel suspenderam metade das suas operações de mineração por não cumprirem os padrões ambientais, provocando um aumento de 2% nos preços do níquel da LME (London Metal Exchange). Em 2014, a Indonésia proibiu das exportações de níquel, o que fez com que o preço subisse quase 50%, pelo que as oscilações de preços do níquel vieram a preocupar os fabricantes/fornecedores de baterias. Em resposta à proibição, empresas da China, da própria Indonésia e da Ucrânia começaram a construir complexos de mineração e fundição em várias

ilhas (na Indonésia). Algumas dessas instalações já iniciaram a produção em 2016 (Schnebele, 2017b).

Os recursos terrestres identificados com uma média de 1% de níquel ou maior percentagem contêm pelo menos 130 milhões de toneladas de níquel. Os recursos extensivos de níquel também são encontrados em crostas de manganês e nódulos no fundo do oceano. O declínio na descoberta de novos depósitos conduziram à exploração em locais mais remotos como a África do leste central e subártico¹⁴ alega a USGS (McRae, 2018).

A procura de níquel para aplicações diferentes das utilizadas em ligas e aço inoxidável diminuiu em 2016, no entanto, o exponencial crescimento no mercado de baterias compensou os resultados inferiores. O níquel é uma parte fundamental de vários sistemas de bateria recarregável usados na eletrónica, em ferramentas elétricas e fontes de energia de emergência. O níquel pode ser encontrado em equipamentos de preparação de alimentos, em telemóveis, em equipamentos médicos, em edifícios, na geração de energia. Em comparação com outros materiais oferece melhor resistência à corrosão, melhor tenacidade, melhor resistência a altas e baixas temperaturas e possui uma variedade de propriedades magnéticas e eletrónicas especiais. As aplicações mais importantes são as ligas de ferro, níquel e cromo, dos quais os aços inoxidáveis representam o maior volume. Cerca de 90% de todo o níquel vendido a cada ano vai para a aplicação em ligas, dois terços fazem parte do aço inoxidável. As ligas à base de níquel (ou seja com maiores percentagens deste material) são usadas para aplicações mais exigentes, como turbinas a gás. Já as ligas de ferro e níquel são aplicadas em dispositivos eletrónicos e engenharia especializada, enquanto as ligas de cobre e níquel são utilizadas para cunhagem e engenharia naval. Os produtos que contêm níquel podem fornecer soluções com melhor vida útil, menor custo total e com uma utilização mais eficiente de recursos, incluindo de energia (Nickel Institute, 2018).

O níquel é um dos materiais mais reciclados globalmente. No final das suas vidas úteis, os produtos ou dispositivos que contêm níquel podem ser recolhidos e reutilizados sendo reciclados, principalmente sob a forma de ligas. Hoje, cerca de metade do teor de níquel de um produto de aço inoxidável será proveniente de fontes recicladas (Nickel Institute, 2018).

No ano de 2016, aproximadamente 90 000 toneladas de níquel foram recuperadas de aterros/reciclagem. Isso representou cerca de 43% do consumo nesse ano (Schnebele, 2017b).

O níquel tetracarbonilo ($\text{Ni}(\text{CO})_4$), gerado durante o processo de obtenção do metal, é um gás extremamente tóxico. As pessoas sensíveis podem manifestar alergias ao níquel. A quantidade admissível na sua aplicação em produtos está regulamentada. O níquel e certos compostos de níquel foram listados pelo Programa Nacional de Toxicologia (NTP) como sendo cancerígenos. A Agência Internacional de Pesquisa sobre o Cancro (IARC) listou os compostos de níquel no grupo 1 (existindo evidência suficiente de carcinogenicidade em seres humanos).

¹⁴ O subártico é uma região no hemisfério norte, imediatamente a sul do verdadeiro Ártico e cobrindo grande parte do Alasca, Canadá, Islândia, norte da Escandinávia, Sibéria e Ilhas Shetland.

Os aços inoxidáveis de baixo-níquel, duplex ou ultra-cromo são substituídos por graus austeníticos na construção. Os aços especiais sem níquel são utilizados em vez de aço inoxidável nas indústrias de geração de energia e petroquímica. As ligas de titânio podem substituir as ligas de níquel ou de níquel-base em ambientes químicos corrosivos. As baterias de íon de lítio podem ser usadas em vez de baterias de níquel-hidreto metálico, em determinadas aplicações.

- **Ouro (Au)**

Historicamente, o valor do ouro está enraizado na sua relativa raridade, fácil fusão, manipulação, cunhagem, resistência à corrosão e outras reações químicas para além da sua cor distintiva (classificado por material nobre). A sua alta vulnerabilidade à restrição de oferta (relacionados ao seu uso quase universal e à falta de substitutos adequados disponíveis) tornam-no uma matéria -prima de especial interesse (Graedel *et al.*, 2015).

Uma avaliação dos recursos de ouro dos EUA indicou 33 mil toneladas de ouro: recursos identificados 15 000 toneladas e não descobertos cerca de 18 000 toneladas. Cerca de um quarto do ouro em recursos não descobertos podem estar contidos em depósitos de cobre de pórfido¹⁵. Os recursos de ouro nos Estados Unidos, no entanto, são apenas uma pequena parcela de recursos globais de ouro (George, 2017).

O ouro metálico puro (elemental) não é tóxico e nem irritante quando ingerido. Já os seus compostos solúveis (sais de ouro), como o cloreto de ouro, são tóxicos para o fígado e os rins. O ouro é um alérgeno de contato relativamente não potente, em comparação com metais como o níquel, no entanto há relatos de pessoas alérgicas a este material.

A produção de ouro está associada à poluição ambiental. O minério de ouro de baixa qualidade pode conter menos de 1 ppm de metal dourado; Como elemento espera-se que a biodegradação de ouro em condições aeróbicas seja muito pobre e não há provas que sugiram que cria problemas ecológicos quando lançado no meio ambiente (Lenntech, 2018). Mas quando o minério é moído e misturado com cianeto de sódio para dissolver o ouro, a apreciação quanto às repercussões ambientais são diferentes. O cianeto é um produto químico altamente venenoso, que pode matar criaturas vivas quando expostas em pequenas quantidades. Muitos derramamentos de cianeto (Deseret News, 2000) provenientes de minas de ouro ocorreram em países desenvolvidos e em desenvolvimento que mataram a vida aquática em longos trechos de rios afetados. Os ambientalistas consideram estes eventos como grandes desastres ambientais. Anteriormente era comum usar mercúrio para recuperar o ouro do minério, mas hoje a utilização deste material é amplamente limitado. A indústria do ouro é considerada altamente consumidora de energia, retirando o minério de minas profundas e triturando a grande quantidade de minério para extração química adicional requer quase 25 kW h de eletricidade por grama de ouro produzida (Norgate e Haque, 2012).

¹⁵ Pórfiro é uma rocha do grupo das rochas ígneas, de textura porfirítica na qual os fenocristais perfazem mais de 50% do volume da rocha.

As propriedades únicas químicas e físicas oferecidas por este metal precioso são cada vez mais procuradas para aplicações num número crescente de indústrias. Estas incluem utilizações dentro dos campos da medicina, da eletrónica (particularmente dentro dos equipamento relacionados com as telecomunicações, tecnologia da informação e aplicações críticas de segurança). Se examinarmos as conexões da bateria de qualquer telemóvel estes são quase certamente banhados a ouro. Da mesma forma, dentro dos computadores há geralmente conectores banhados a ouro, assim como alguns DVDs e CDR graváveis possuem finas metalizações de ouro. Os fios de ligação de ouro são utilizados extensivamente em pacotes de semicondutores. Este material é também utilizado na fabricação de circuitos híbridos, em produtos como cartões inteligentes, em (contactos dos) sensores de impacto dos *airbags* e as suas excelentes propriedades são usadas para formar uma camada protetora muito fina em placas de circuito impresso de laminado de cobre antes do armazenamento. Além disso, existem outros setores de aplicação como na medicina, na biotecnologia, na nanotecnologia, na joalheria, entre outros (AZO Materials, 2017). A excelente biocompatibilidade, maleabilidade e resistência à corrosão do ouro também proporciona benefícios para o uso dentro do corpo como o caso das aplicações dentárias utilizadas desde o tempo dos Etruscos (século VIII a.C.).

O ouro exerce funções críticas na área aeroespacial como naves espaciais, motores de reação na aviação e em diversos outros produtos. Outros usos não são tão visíveis, como o aumento do uso de ouro nos componentes eletrónicos dos automóveis, incluindo freios anti bloqueio, controlo de ignição, e injeção eletrónica de combustível, um mercado que deverá crescer mais de 8% ao ano nos próximos cinco anos.

As atuais aplicações industriais, principalmente nos setores eletrónico e odontológico, somam cerca de 12%. Em comparação, o uso industrial de platina, paládio e prata representam mais de 50% da procura total. No entanto, a mais recente gama de novas tecnologias e os mercados em desenvolvimento exigem cada vez mais a utilização deste metal precioso.

As incertezas políticas na Europa, incluindo o referendo do Reino Unido sobre a saída da União Europeia, estimularam um ligeiro aumento no consumo global de investimento em ouro. O consumo de produtos industriais reduziu, principalmente devido aos aumentos no preço do ouro.

Os metais comuns revestidos com ligas de ouro são amplamente utilizados em produtos elétricos e eletrónicos e em jóias para economizar em ouro; muitos desses produtos são constantemente redesenhados para manter padrões de alta utilidade com menor conteúdo de ouro (George, 2018a). Normalmente o paládio, a platina e a prata podem substituir o ouro.

- **Platina (Pt)**

A platina é um metal nobre. A platina é um dos metais menos reativos, possuindo uma resistência notável à corrosão, mesmo a altas temperaturas. Pelo facto de ocorrer

naturalmente nas areias aluviais de vários rios, foi utilizado pela primeira vez por nativos da América do Sul pré-colombiana para produzir artefactos.

As concentrações de platina no solo, água e ar são muito pequenas (no ranking de 78 materiais encontra-se na 71ª posição). Em alguns lugares podem encontrar-se depósitos que são muito ricos em platina, principalmente na África do Sul, na União Soviética e nos Estados Unidos. As maiores reservas encontram-se no complexo Bushveld e em Joanesburgo na África do Sul. Aqui a platina ocorre em proporções da ordem de 4 a 10 ppm, em rochas como piroxene, mas invariavelmente associada a cromites e sulfuretos de ferro, cobre e níquel (Nautilus, 1999). A platina tem desafios energéticos e ambientais semelhantes, além disso, os seus depósitos são em termos geoestratégicos, altamente concentrados. Os recursos mundiais de PGMs¹⁶ (Platinum Group Metals - platina, paládio, ruténio, ródio, ósmio e o irídio) são estimados em mais de 100 milhões de quilogramas.

Atualmente a platina é essencialmente um metal com utilizações industriais sendo um material crítico para muitas indústrias. O governo dos EUA apelidou-o de "metal estratégico" sendo um recurso militar. A indústria automóvel é uma das maiores consumidoras deste metal, uma vez que a sua procura está altamente correlacionada ao ciclo deste sector e consequentemente às oscilações de preço. A introdução de padrões de emissão mais rigorosos para automóveis em alguns países deverá resultar num aumento da procura de paládio, platina e ródio para uso em conversores catalíticos. A platina é um elemento ativo também utilizado em sensores e mais recentemente está a ser utilizada como material de eletrodo em velas de ignição longa. A produção automobilística aumentou nos países em desenvolvimento, o que, por sua vez, se deverá a dita procura por PGMs (Loferski, 2017). Nos equipamentos elétricos/eletrónicos é encontrada em fios que implicam contactos em ambientes corrosivos ou de alta tensão. É também um componente em revestimentos magnéticos para unidades de disco rígido de alta densidade e alguns dos mais novos sistemas de armazenamento ótico. Estima-se que cerca de 20% dos produtos eletrónicos comprados pelos consumidores contenham platina apesar da procura ter ultimamente decaído. Para além disso é reconhecida a sua aplicação na indústria vidreira, na refinação do petróleo, na medicina e como substituto do ouro seja em lingotes, moedas ou jóias (AZO Materials, 2002).

Os efeitos sobre a saúde da platina dependem fortemente do tipo e do nível de exposição. A platina como metal não é muito perigosa, mas os sais de platina podem causar vários efeitos na saúde, tais como: alterações do ADN, cancro, reações alérgicas entre outras. Um dos perigos deste material é que pode potencializar toxicidade de outros produtos químicos perigosos no corpo humano, como o selénio. A platina também é emitida para o ar através dos escapes dos carros que utilizam gasolina com chumbo. Consequentemente, os níveis de platina

¹⁶ Neste estudo, dos materiais pertencentes ao grupo dos PMG, são enunciados a platina e o paládio. Segue-se o ruténio o qual se enunciará adiante fornecendo algumas características e fatores, ainda que não conste individualmente da tabela 9 da pág. 27, capítulo 1, do grupo dos metais, por demonstrar ser um material em franca expansão de consumo.

no ar podem ser mais elevados em determinados locais, por exemplo em garagens, em túneis e em terrenos de empresas de transporte rodoviário Lenntech (2018). A mineração de metais do grupo da platina (Pt), do ouro, o mercúrio, o escândio, geram graves implicações ambientais (Graedel *et al.*, 2015).

- **Paládio (Pd)**

O paládio, juntamente com o ródio, o ruténio, o ósmio, o irídio e a platina, formam um grupo de elementos referidos como os metais PGM, do grupo da platina. (No ranking de 78 materiais mais abundantes na crosta terrestre encontra-se na 74^a posição). É atualmente um metal mais caro que o ouro sendo bastante escasso na crosta terrestre. O paládio é um metal lustroso branco prateado. É encontrado como o metal livre associado com platina e outros metais do grupo da platina na Austrália, Brasil, Rússia, Etiópia, América do Norte e do Sul, bem como em depósitos de níquel e cobre (do qual é recuperado comercialmente) no Canadá e no Sul de África.

Devido à sua resistência à corrosão e à ação dos ácidos, é utilizado em ligas que estabelecem contatos elétricos de baixa tensão. É atacado por ácidos quentes e dissolve-se em *aqua regia*¹⁷ (Lenntech, 2018).

O paládio é amplamente utilizado na fabricação de jóias em certas ligas denominadas "ouro branco". Pode ser ligado com platina ou substituído por este. É usado em rolamentos de relógios, molas e balanças e também para espelhos em instrumentos científicos.

Em 1990, a maioria dos conversores catalíticos baseou-se na platina para reduzir as emissões dos veículos mas, embora este metal ainda seja importante, o paládio é agora o principal ingrediente porque ainda é mais eficiente na remoção de hidrogénio não queimado ou parcialmente queimado do combustível. Cerca de 25% de paládio podem rotineiramente ser substituídos por platina em conversores catalíticos a *diesel*; A proporção pode ser até 50% em algumas aplicações (Loferski, 2017).

Atualmente, o paládio é usado cada vez mais em aparelhos elétricos, como televisores de ecrã largo, computadores e telemóveis, sob a forma de condensadores cerâmicos de várias camadas, dos quais mais de 400 mil milhões são produzidos a cada ano. Para uso em odontologia é ligado com prata, ouro e cobre. Os sais de paládio são utilizados na galvanoplastia.

O paládio é considerado de baixa toxicidade, sendo pouco adsorvido pelo organismo quando ingerido. Pode causar irritação na pele, nos olhos ou nas vias respiratórias e sensibilidade na pele. Os compostos de paládio raramente são encontrados pela maioria das pessoas, no entanto todos os compostos deste material devem de ser considerados altamente tóxicos e cancerígenos. O cloreto de paládio é tóxico, nocivo por ingestão, inalado ou absorvido

¹⁷ Ou *água régia* é uma mistura de ácido nítrico e ácido clorídrico concentrados, geralmente na proporção de uma para três partes. É um líquido altamente corrosivo de coloração alaranjada. É uma das poucas substâncias que podem dissolver o ouro (Au) e a platina (Pt), tendo o nome de "água régia" devido à propriedade de dissolver os metais nobres.

através da pele. Exceção à regra, o cloreto de paládio já foi anteriormente prescrito como tratamento para tuberculose sem muitos efeitos colaterais.

O paládio tem pouco impacto ambiental, mas não deverá de ser libertado para o ambiente sem permissão (Lenntech, 2018).

- **Ruténio (Ru)**

O ruténio é um metal duro e branco. Não mancha à temperatura ambiente, mas oxida no ar a cerca de 800°C, sendo muito pouco conhecido e considerado raro ou pouco abundante, encontrado normalmente em minas de platina. O ruténio, juntamente com o ródio, o paládio, o ósmio, o irídio e a platina, formam um grupo de elementos referidos como os metais do grupo da platina (PGM). É geralmente encontrado na América do Norte e do Sul e na África do Sul. (Lenntech, 2018). No ranking de 78 materiais mais abundantes à face da terra encontra-se na 73ª posição, à frente do paládio.

A procura de ruténio está a aumentar o que fez com que este material tivesse alcançado o valor mais elevado em mais de sete anos. O metal encontra aplicações na indústria eletrónica (50%) e na indústria eletroquímica (40%). É utilizado como catalisador e em ligas metálicas de alta resistência juntamente com a platina ou paládio. Este material é um dos componentes do primeiro disco rígido químico do mundo¹⁸. Este novo tipo de computação pode criar uma alternativa totalmente nova de armazenar, ler e transferir informações. Isto é, há maior procura do que oferta porque está a ser aplicado nas novas tecnologias, consequentemente o preço disparou (em 375%). A valorização deverá permanecer em 2018: *"Esta subida tem pernas para andar"*, afirmou Jonathan Butler, um especialista em metais preciosos da Mitsubishi Corp, em declarações à Bloomberg (Adam, 2017).

Todos os compostos de ruténio devem ser considerados altamente tóxicos e cancerígenos. O ruténio 106 foi um dos radionuclídeos envolvidos no teste atmosférico de armas nucleares (nos EUA), que começou em 1945, sendo considerado de longa vida que produziu e continuará a produzir, um risco aumentado de cancro por séculos vindouros. Os compostos de ruténio mancham a pele e quando ingerido fica retido nos ossos. O óxido de ruténio (RuO₄) é altamente tóxico e volátil e deve de ser evitado. (Lenntech, 2018).

- **Potássio (K)**

Abundante na natureza, encontrado principalmente nas águas salgadas e outros minerais. O potássio constitui cerca de 2,4% em peso da crosta terrestre, sendo o 7º elemento mais abundante. Devido a sua insolubilidade é muito difícil obter o metal puro. Ainda assim,

¹⁸ Os cientistas do Instituto de Química e Física da Academia Polaca das Ciências, em Varsóvia, anunciaram na Primavera de 2017, um método revolucionário para armazenar informação, que ocorre através de uma unidade de memória química de um bit, a que chamaram "chit". O ruténio atua como catalisador - que induz a reação sensível à luz. É precisamente essa sensibilidade à luz que impede o chit de oscilar e que permite aos investigadores controlar o processo.

em antigos leitos marítimos e lagos existem grandes depósitos de minerais de potássio dos quais é economicamente viável a extração do metal e dos seus sais. Oxida-se rapidamente com o oxigénio do ar sendo muito reativo especialmente com a água.

De acordo com a associação de produtores da indústria, já estava previsto o aumento do consumo mundial para todos os tipos de utilizações do potássio, inclusivamente esperam-se números na ordem dos 43 milhões de toneladas (de K_2O) em 2019. Essencialmente a Ásia e América do Sul seriam os causadores do crescimento do consumo. Espera-se que a exploração e desenvolvimento deste elemento permaneçam muito ativos durante na próxima década. Em 2016, cerca de 30 projetos de mineração estavam em andamento em todo o mundo, e deverão estar concluídos em 2020, em particular na Bielorrússia, no Canadá, China, Rússia e Turquemenistão. Outros projetos em vários estágios de desenvolvimento como na Argentina, Austrália, Brasil, Canadá, Congo (Brazzaville), Eritreia, Etiópia, Cazaquistão, Laos, Peru, Tailândia e Reino Unido esperam-se ser posteriores a 2021 (Jasinski, 2017b).

Os recursos estimados de potássio nos EUA totalizam cerca de 7 mil milhões de toneladas. A maioria destes situa-se em profundidades entre 1 800 e 3 100 metros numa área de 3 110 Km^2 de Montana e Dakota do Norte, tal como uma extensão de depósitos da Bacia de Williston em Manitoba e Saskatchewan, no Canadá. A bacia de Paradox no Utah contém recursos calculados em cerca de 2 mil milhões de toneladas, principalmente em profundidades de mais de 1 200 metros. A Bacia Holbrook do Arizona contém recursos de cerca de 0,7 a 2,5 mil milhões de toneladas. Um grande recurso de potássio fica a cerca de 2 100 metros abaixo do centro de Michigan e contém mais de 75 milhões de toneladas. Os recursos mundiais estimados totalizam cerca de 250 mil milhões de toneladas deste material, registou a USGS (Jasinski, 2018c).

O potássio é um metal utilizado em células fotoelétricas. O carbonato de potássio entra em fabricação de vidro, especialmente o vidro utilizado para fazer ecrãs de televisores, enquanto o hidróxido de potássio é utilizado para fazer sabões líquidos e detergentes. O cloreto de potássio e o nitrato de potássio são utilizados como fertilizantes (cerca de 95%) (Lenntech, 2018). O peróxido de potássio é aplicado em aparatos de respiração de bombeiros e mineiros. O nitrato também é utilizado na fabricação de pólvora, o cromato de potássio e o dicromato de potássio em pirotecnia.

O potássio sólido reage razoavelmente com a água, mais que o sódio, por isso, deve ser conservado imerso num líquido apropriado como azeite ou querosene. Na sua manipulação devem tomar-se os mesmos cuidados que se tomam com o sódio. O potássio pode ser encontrado em vegetais, frutas, batatas, carne, pão, leite e nozes. Ele desempenha um papel importante no sistema de fluido físico dos seres humanos e auxilia as funções dos nervos. No entanto a inalação de poeira pode irritar os olhos, nariz, garganta (podendo causar danos permanentes), e pulmões. Exposições mais altas podem causar uma acumulação de líquido nos pulmões e até causar a morte (Lenntech, 2018).

Não existem substitutos para o potássio como um nutriente essencial da planta e como um requisito nutricional essencial para animais e seres humanos (Jasinski, 2018c).

- **Prata (Ag)**

A prata é um elemento que ocorre naturalmente. Encontra-se no ambiente combinado com outros elementos, como sulfureto, cloreto e nitrato. A prata pura é de cor "prateada", mas o nitrato de prata e o cloreto de prata são brancos, em pó e o sulfeto de prata e o óxido de prata variam entre cinza escuro e cor preta. A prata é frequentemente encontrada como um subproduto durante a recuperação de minérios de chumbo, zinco, cobre e ouro, em ordem decrescente de produção. Dentre os metais, é a que melhor conduz a corrente elétrica, superando o cobre.

As principais áreas de mineração de prata do mundo encontram-se na América do Sul, nos Estados Unidos, na Austrália e na antiga União Soviética. O maior produtor individual de prata é provavelmente o México, onde a prata tem sido minerada desde aproximadamente 1500 d.C. até aos dias de hoje. As maiores minas do mundo estão localizadas na Austrália, na Bolívia, no México, no Peru e na Polónia (Bennett, 2017b).

Os depósitos de minério polimetálicos a partir dos quais a prata foi recuperada representam mais de dois terços dos EUA e recursos mundiais de prata (Bennette, 2018b). As descobertas de prata mais recentes foram associadas a ocorrências de ouro; As ocorrências de cobre e chumbo que contenham subproduto de prata continuarão a representar uma parcela significativa de reservas e recursos no futuro.

A prata é tóxica. No entanto, a maior parte dos seus sais não são venenosos, devido às características dos seus aniões. Estes compostos são absorvidos pelo corpo e permanecem no sangue até se depositarem nas membranas mucosas, formando uma película acinzentada. A intoxicação por prata chama-se *argiria*. Há contudo, outros compostos de prata, como o nitrato, que têm um efeito antisséptico.

Durante a II Guerra Mundial, o suprimento de cobre levou à substituição pela prata em diversas aplicações industriais. Por sua vez a prata pôde substituir o estanho na solda em pequenas quantidades (uma grande quantidade de estanho foi disponibilizada para outras aplicações pela substituição da prata do governo) à época. A prata é usada para fazer jóias, talheres, equipamentos eletrónicos e implantações dentárias. Também é utilizada em fotografia, em brasagem de ligas e soldas, para desinfetar água potável e água de piscinas e como agente antibacteriano (ATSDR, 2018d).

Segundo registos da USGS, as imagens digitais, os processos fotográficos *nonsilver* (sem utilização da prata) e a xerografia¹⁹ substituíram as aplicações fotográficas convencionais que recorriam à prata. Pinos e placas cirúrgicas podem ser feitos com aço inoxidável, tântalo e titânio em lugar da prata. O alumínio e o ródio podem ser usados para substituir a prata que tradicionalmente era utilizada em espelhos e outras superfícies refletoras. A prata pode ser

¹⁹ Processo de reprodução de imagens e/ou texto mediante a utilização da máquina fotocopadora. A descoberta da possibilidade de se copiar a seco (xero em grego significa "seco", xerografia significa "escrita a seco") originou o termo xerografia, e daí a criação da empresa Xerox Corporation, que comprou os direitos de comercialização da invenção.

usada para substituir metais mais caros em conversores catalíticos para veículos de todo o terreno (Bennett, 2018b).

- **Rénio (Re)**

O rénio raramente é encontrado na natureza. Este elemento encontra-se em pequenas quantidades espalhado por toda a crosta terrestre, em torno de 0,001 ppm. É obtido como subproduto do processamento de minerais de molibdénio contidos em alguns minérios de cobre, no entanto já foi relatada a sua descoberta nos minerais de platina e na columbite (que consiste em niobato e tantalato de ferro e manganês).

Pouco se sabe sobre a toxicidade do rénio e dos seus compostos porque são usados em quantidades muito pequenas, no entanto deve ser manuseado com cuidado. Os sais solúveis, tais como os halogenetos de rénio ou os perrhenatos, podem ser perigosos (Emsley, 2003). Apenas alguns compostos de rénio foram testados quanto à sua toxicidade aguda; dois exemplos são perrhenato de potássio e tricloreto de rénio, apresentando valores de toxicidade muito baixa, semelhante à do sal de mesa (Haley e Cartwright, 1968).

O rénio é adicionado a superligas de alta temperatura que são utilizadas para fazer peças de motores a jato, usando 70% da produção mundial de rénio (Naumov, 2007a). Outra aplicação importante é em catalisadores de platina-rénio, que são utilizados principalmente na fabricação de gasolina livre de chumbo e alto índice de octano.

A maioria do rénio ocorre com molibdénio em depósitos de cobre de pórfiro. Os recursos identificados nos EUA estão estimados em cerca de 5 milhões de quilogramas e os recursos identificados no resto do mundo são de aproximadamente 6 milhões de quilogramas. O rénio também está associado a minerais de cobre em depósitos sedimentares na Arménia, no Cazaquistão, na Polónia, na Rússia e no Uzbequistão, onde o minério é processado para a recuperação do cobre e os resíduos que contêm este material são recuperados em fundições de cobre.

Para Polyak (2018c), os substitutos do rénio como o irídio e estanho em catalisadores de platina-rénio são avaliados continuamente. Outros metais para uso catalítico incluem gálio, germânio, índio, selénio, silício, tungsténio e vanádio. O uso destes e de outros metais em catalisadores bimetálicos pode diminuir a parcela do rénio no mercado de catalisadores existentes; Os materiais que podem substituir o rénio noutras aplicações são os seguintes: cobalto e tungsténio para revestimentos em alvos de raios X de cobre; platina-ruténio para revestimentos em contatos elétricos e tungsténio e tântalo para emissores de eletrões.

- **Tálio (Ti)**

A China, o Cazaquistão e a Rússia acreditavam ser os principais produtores de tálio primário. Desde 2005, foram identificados importantes depósitos ricos em tálio no Brasil, na China, na Macedónia e na Rússia (Bennett, 2018). O tálio, antes considerado um metal muito raro subiu um certo número de posições, estimado em cerca de 0,7 partes por milhão (posição 60ª do ranking de materiais abundantes em 78 elementos). Ocorre principalmente em

associação com minerais de potássio em argilas, granitos e nos solos e geralmente não é considerado comercialmente recuperável desses materiais. As reservas foram baseadas no teor de tálio em minérios de zinco, contudo não são considerados números fiáveis. A principal fonte de tálio recuperável são os vestígios encontrados em minérios de cobre, chumbo, zinco e outros sulfetos. Só os recursos mundiais de tálio contidos em depósitos de zinco podem atingir 17 milhões de quilogramas.

Atualmente o tálio é utilizado em detetores de radiação infravermelha, radiação gama e na medicina nuclear.

O tálio é altamente tóxico, por isso era utilizado como produto para matar ratos e insetos (agora proibido em alguns países). Há indícios de que cause danos na pele, perda de cabelo, alterações nos nervos periféricos e cancro em seres humanos (Saha, 2005). O tálio metálico e seus compostos são materiais altamente tóxicos e são estritamente controlados para prevenir danos aos seres humanos e ao meio ambiente. Os compostos podem ser absorvidos no corpo humano pela pele por contato, ingestão ou inalação de poeira ou fumo. As principais fontes de tálio libertadas para o meio ambiente, provêm das fábricas de combustão de carvão e fundições de minérios de cobre, chumbo e zinco.

Embora outros materiais e formulações possam substituir o tálio no equipamento de deteção de radiação gama e na ótica utilizada para deteção e transmissão por infravermelho, os componentes deste material são mais rentáveis e superiores, em utilizações específicas. Os substitutos não tóxicos, como os compostos de tungsténio, são comercializados como substitutos do tálio em líquidos de alta densidade.

- **Tântalo (Ta)**

O Tântalo é um metal de transição raro, altamente resistente à corrosão. Faz parte do grupo de metais refratários, que são amplamente utilizados como componentes menores em ligas. A inércia química do tântalo torna uma substância valiosa para equipamentos de laboratório e um substituto para a platina. A sua principal utilização surge na produção de componentes eletrónicos, como telemóveis, leitores de DVD, sistemas de videojogos, câmaras e computadores. O tântalo, a par do nióbio quimicamente similar, ocorre nos tantalitos minerais, columbite e coltan (mistura de columbita e tantalite) (Papp, 2008).

Quanto aos recursos identificados de tântalo, a maioria deles na Austrália, no Brasil e no Canadá, são considerados adequados para atender às necessidades. Os EUA têm cerca de 1500 toneladas de recursos de tântalo em depósitos identificados (2007).

Os compostos contendo tântalo são raramente encontrados no laboratório. O metal é altamente biocompatível (Burke, 1940) e é usado para implantes e revestimentos corporais, portanto, a atenção pode ser focada noutros elementos ou a natureza física do composto químico (Matsuno *et al.*, 2001). Pode ser prejudicial por inalação, ingestão ou absorção da pele. Não há relatos de efeitos adversos para a saúde em trabalhadores expostos industrialmente

(Lenntech, 2018). Aos níveis de 2 500 mg / m³, o tântalo é imediatamente perigoso para a vida e saúde (CDS, 2016b).

O tântalo utiliza-se no fabrico de equipamento químico resistente à corrosão, em fornos para altas temperaturas, em contentores e canalizações para permutadores de metais líquidos, em reatores nucleares, em placas e fios para procedimentos cirúrgicos, em filamentos para lâmpadas de incandescência, em *smartphones*, entre outros. As propriedades elétricas do óxido de tântalo conduzem à utilização do metal no fabrico de retificadores para conversão de corrente alterna contínua, bem como no fabrico de condensadores.

Os seguintes materiais podem ser substituídos por tântalo, mas geralmente com menos eficácia: nióbio em carbonetos; vidro, nióbio, platina, titânio e zircónio em equipamento resistente à corrosão; háfnio, irídio, molibdénio, nióbio, rénio e tungsténio em aplicações de alta temperatura.

- **Tungsténio (W)**

O tungsténio é encontrado na natureza apenas combinado com outros elementos, nos minerais wolframita, scheelita, ferberita, stolzita e hubnerita. Os depósitos mais importantes destes minerais situam-se na Bolívia, nos EUA. na Áustria, em Portugal, na Rússia, na Coreia do Sul e na China.

Os recursos mundiais do tungsténio encontram-se geograficamente dispersos. A China ocupa o primeiro lugar no mundo em termos de recursos e reservas de tungsténio e tem alguns dos maiores depósitos. O Canadá, o Cazaquistão, a Rússia e os Estados Unidos também possuem importantes recursos deste material assegurou a USGS (Shedd, 2018b).

Dado que o tungsténio é raro e os seus compostos geralmente inertes, os efeitos do tungsténio sobre o ambiente são limitados (Strigul *et al.*, 2005). A partir do ano 2000, o risco exercido pelas ligas de tungsténio, das suas poeiras e partículas aparentam induzir o cancro e vários outros efeitos adversos em animais e humanos sendo inclusive destacados através de experiências *in vitro* e *in vivo*. A porção letal média DL50 depende fortemente do animal e do método de administração e varia entre 59 mg / kg. As pessoas podem ser expostas ao tungsténio no local de trabalho, respirando, em contato com a pele e contato com os olhos. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) estabeleceu um limite de exposição recomendado (REL) de 5 mg / m³ durante uma jornada de trabalho de 8 horas e um limite de curto prazo de 10 mg / m³ (Zoroddu *et al.* 2017).

A forma elementar não combinada é usada sobretudo em aplicações eletrónicas. Dado que retém a sua resistência a altas temperaturas e tem alto ponto de fusão, o tungsténio elementar é usado em muitas aplicações de alta temperatura (DeGarmo, 1979). As muitas ligas de tungsténio têm numerosas aplicações, destacando-se os filamentos de lâmpadas incandescentes, tubos de raios X (como filamento e como alvo), válvulas termiônicas, resistências de aquecimento e bocais de foguetes (Stwertka, 2002). O seu ponto alto de fusão

faz com que este material seja também apropriado para utilizações aeroespaciais e de altas temperaturas como aplicações em soldas e superligas.

Os potenciais substitutos para este material são o molibdénio para certos produtos de tungsténio; aços de molibdénio para aços de tungsténio; iluminação baseada em filamentos de nanotubos de carbono, tecnologia de indução e emissão de luz, díodos para iluminação a partir de elétrodos de tungsténio ou filamentos; urânio ou chumbo empobrecido para ligas de tungsténio; ou tungsténio em aplicações que requerem alta densidade ou a capacidade de proteger a radiação, entre outras. Para Shedd (2018b) em algumas aplicações, a substituição resultaria em aumento de custo ou perda do desempenho do produto.

- **Vanádio (V)**

Apesar de ser bem mais abundante que o cobre, com uma abundância crustal de 160 ppm, forma poucos minerais. O vanádio nunca é encontrado no estado nativo, porém está presente em cerca de 65 minerais diferentes (ASTDR, 2012). O vanádio ocorre em depósitos de pedra fosfática, magnetita titanífera e arenito uranífero e siltstone, em que constitui menos de 2% da rocha hospedeira (Polyak, 2018d). Também é encontrado na bauxite, assim como em depósitos que contêm carbono, como por exemplo no carvão, óleos crus de petróleo, xisto e areias betuminosas. É extraído do petróleo empregando porfirinas. É encontrado também em minérios de ferro, rochas vulcânicas e argilominerais sendo utilizado principalmente em algumas ligas metálicas. A maior parte das reservas mundiais, cerca de 10 milhões de toneladas, encontram-se na Rússia, China e África do Sul. Aproximadamente 80% do vanádio produzido é aplicado como ferrovanádio ou como aditivo em aço. A USGS refere que os recursos mundiais do vanádio excedem os 63 milhões de toneladas. Como o vanádio é tipicamente recuperado como um subproduto ou coproduto, os recursos mundiais demonstrados do elemento não são totalmente indicativos dos suprimentos disponíveis.

Todos os compostos de vanádio devem ser considerados tóxicos. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) recomendou que 35 mg / m³ de vanádio sejam considerados perigosos para a vida e a saúde, ou seja, suscetíveis de causar problemas de saúde permanentes ou a morte (Osha, 2009). A exposição prolongada ou a absorção em grandes quantidades de seus compostos pode causar mal-estar, enjoo, coriza, dor de cabeça e dores no corpo, além de deixar a língua da pessoa contaminada com a coloração azul. Não existem evidências ou estudos científicos que liguem o vanádio a casos de cancro.

As libertações de vanádio para o meio ambiente estão principalmente associadas a fontes industriais, especialmente refinarias de petróleo e produção de energia utilizando óleo combustível rico em vanádio e carvão. O vanádio não pode ser destruído ou erradicado do meio ambiente. No entanto pode alterar a forma, anexar-se ou separar-se em partículas, no ar no solo, na água e em sedimentos (ATSDR, 2012).

Os traços de vanádio em combustíveis *diesel* são o principal componente de combustível em corrosão a alta temperatura. Durante a combustão, o vanádio oxida e reage com o sódio e o enxofre, produzindo compostos de vanadato com pontos de fusão até 530°C, que atacam a camada de passivação em aço e tornam-se suscetíveis à corrosão (Woodyard, 2009; Totten *et al.*, 2003).

Os aços contendo várias combinações de outros elementos de liga podem ser substituídos por aços que contêm vanádio. Certos metais, como manganês, molibdénio, nióbio, titânio e tungsténio, são até certo ponto permutáveis com o vanádio como elementos de liga em aço. A platina e níquel podem substituir compostos de vanádio como catalisadores em alguns processos químicos (Polyak, 2018d). Atualmente, nenhum substituto aceitável para o vanádio está disponível para utilização em ligas de titânio para aplicações aeroespaciais.

- **Zinco (Zn)**

O zinco é o 25º elemento mais abundante na crosta terrestre. O zinco é o quarto metal mais comum em utilização, posterior ao ferro, alumínio e cobre, com uma produção anual de cerca de 13 milhões de toneladas (Tolcin, 2015). Cerca de 70% do zinco mundial é originário da mineração, enquanto os restantes 30% provêm da reciclagem de zinco secundário (Iza, 2011). Em todo o mundo, 95% do novo zinco é extraído de depósitos de minério sulfídrico, em que a esfalerite (ZnS) é quase sempre misturada com sulfetos de cobre, chumbo e ferro (Porter, 1991).

As minas de zinco estão espalhadas por todo o mundo. Os maiores títulos disponíveis (por ordem crescente) estão na Austrália, Peru, EUA e China (e.g. que produziu 38% da produção global de zinco em 2014). Em 2016, cerca de 25% (35 000 toneladas) de zinco refinado produzido nos Estados Unidos foi recuperado de materiais secundários em fundições primárias e secundárias. Os materiais secundários incluíam resíduos de galvanização óxido de zinco em bruto recuperado do pó de forno de arco elétrico (Tolcin, 2015). Os recursos de zinco identificados do mundo são cerca de 1,9 mil milhões de toneladas, referiu Thomas (2018b).

O zinco nos rios que atravessam áreas industriais e de mineração pode atingir 20 ppm. O tratamento eficaz de esgoto reduz em muito as concentrações deste material. O tratamento ao longo do Reno, por exemplo, diminuiu os níveis de zinco para 0.05 ppm. Os solos contaminados com zinco da mineração, refinação ou fertilização com lodo contendo zinco podem conter vários gramas de zinco por quilograma de solo seco. Os níveis de zinco em excesso de 500 ppm no solo interferem na capacidade das plantas para absorver outros metais essenciais, como ferro e manganês. Os níveis de zinco de 2000 ppm a 180,000 ppm foram registrados em algumas amostras de solo (Emsley, 2001) no entanto tendem a estar cada vez mais controlados. Relatos da ingestão de moedas de zinco pela Casa da Moeda dos EUA resultaram em intoxicação e até em morte (Hotz *et.al.*, 2005).

O zinco é mais utilizado como agente anti corrosão (Greenwood e Earnshaw, 1997), e a galvanização (revestimento de ferro ou aço) é a forma mais familiar. Em 2009, nos Estados

Unidos, 55% ou 893 mil toneladas de metal de zinco foram utilizadas para galvanização (Tolcin, 2011).

Embora o zinco seja um requisito essencial para uma boa saúde, o excesso de zinco pode ser prejudicial. A absorção excessiva de zinco suprime a absorção de cobre e ferro (Fosmire, 1990). O ião de zinco livre em solução é altamente tóxica para plantas, invertebrados e até peixes vertebrados (Eisler, 1993).

Bedinger (2018b) afirmou que este material pode ser substituído por alumínio e plástico para chapas galvanizadas em automóveis; as ligas de alumínio, cádmio, tinta e revestimentos de plástico substituem revestimentos de zinco noutras aplicações. As ligas de alumínio e base de magnésio são grandes concorrentes para as ligas de fundição sob pressão de zinco. Muitos elementos são substitutos do zinco em aplicações químicas, eletrónicas e pigmentadas.

3.2.2. Semi- metais

Tabela 32. Grupo dos Semi-metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre em 78 elementos (conforme fontes na página 110, oitava alínea).

Semi-Metais (t) 6	Risco de oferta			Risco de toxicidade						
	Raro/ Escasso	Mediano	Abundante	Ecotóxico	Toxicidade (aguda)	Infec./Cancerígeno	Corrosivo	Mutagénico	Alguns toxicidade	Pouca ou isento
Antimónio (Sb)	62									
Arsénio (As)	55									
Boro (B)		41								
Germânio Ge)	53									
Silício (Si)			2							
Telúrio (Te)	70									

- **Antimónio (Sb)**

O British Geological Survey (BGS) informou que, em 2005, a China era o principal produtor de antimónio, com aproximadamente 84% da participação mundial, (Peng *et al.*, 2003). Os principais recursos mundiais identificados atualmente encontram-se na Austrália, Bolívia, China, México, Rússia, África do Sul e Tajiquistão (Klochko, 2018a). Em 2016, segundo o U.S.Geological Survey, a China minerou cerca de 100 000 t da produção total de antimónio, seguida em segundo lugar pela Rússia e em terceiro lugar pelo Tajiquistão (Guberman, 2017a). O total da produção mundial foi de 130 000 t. De acordo com as estatísticas do USGS (2017), as reservas globais atuais de antimónio serão esgotadas em 13 anos. No entanto, o USGS tem esperança que sejam encontrados mais recursos.

Os efeitos do antimónio e dos seus compostos sobre a saúde humana e ambiental diferem amplamente. O metal elementar não afeta a saúde humana e ambiental. Já a inalação de trióxido de antimónio (e partículas de poeira Sb pouco solúveis, como pó de antimónio) é considerado prejudicial e suspeito de causar cancro (testado em animais). O contato prolongado da pele com pó de antimónio pode causar dermatites.

As maiores aplicações para o antimónio metálico ocorrem em ligas de chumbo e estanho e as placas de antimónio de chumbo em baterias de chumbo-ácido. As ligas de chumbo e estanho com antimónio têm propriedades melhoradas para soldas, balas e rolamentos. Os compostos de antimónio são aditivos proeminentes para retardadores de fogo contendo cloro e bromo encontrados em muitos produtos comerciais e domésticos. Cerca de 60% de antimónio é consumido em retardadores de chama e 20% é utilizado em ligas para baterias, rolamentos e soldas (Butternan *et al.*, 2003). Uma aplicação emergente é o uso de antimónio na microeletrónica.

Klochko (2018a) esclarece que os compostos orgânicos selecionados e o óxido de alumínio hidratado são substitutos do antimónio, como retardadores de chama. Os compostos de cromo, estanho, titânio, zinco e zircónio substituem produtos químicos deste material em esmaltes, tintas e pigmentos.

- **Arsénio (As)**

É o 55º elemento em abundância da crosta terrestre e é encontrado na forma nativa, principalmente sob forma de sulfeto sendo associado a uma série de minerais que contém ouro, cobre, chumbo, ferro, níquel, cobalto e outros metais. Segundo dados do serviço de prospeções geológicas estadunidense (U.S. Geological Survey, 2017) as minas de cobre e chumbo contêm aproximadamente 11 milhões de toneladas de arsénio, especialmente no Peru e Filipinas. O metaloide também é encontrado associado com depósitos de cobre-ouro no Chile e foi associado a ocorrências de ouro no Canadá e diversos outros países. Existem centenas de milhares de pequenas minas de ouro desativadas no mundo e centenas de grandes minas de ouro em operação. Dos 16 tipos de depósitos de ouro reconhecidos, apenas 6 não têm associação com o arsénio. Em 2016, foram produzidas a nível mundial, 36 500 t deste material. Segundo consta os dados de reservas mundiais não estão disponíveis, mas são considerados mais de 20 vezes a produção mundial (Brininstool, 2017a).

O arsénio e os seus compostos são extremamente tóxicos, especialmente o arsénio inorgânico. Milhões de pessoas no mundo inteiro adoecem e morrem sem saber que a causa de suas doenças é o envenenamento crónico por arsénio. No Bangladesh, por exemplo ocorreu uma intoxicação em massa, a maior da história, devido à construção de milhares de poços tubulares de água que estavam naturalmente contaminados com arsénio. A Organização Mundial de Saúde estabelece um limite máximo de 0,010 mg/L de arsénio em água para consumo humano (WHO, 2001). O arsénio é absorvido pelo organismo humano principalmente por inalação e ingestão. Os compostos orgânicos de arsénio são menos tóxicos que os inorgânicos. A tolerância é dita

relativa porque a acumulação de arsénio no organismo causa doenças a médio/longo prazo, principalmente em espécies caracterizadas por alta duração de vida e alto índice de encefalização, como o Homem.

Os substitutos para CCA (Chromated Copper Arsenate) no tratamento da madeira incluem cobre, material compósito de plástico, desperdícios de madeira plastificada ou aço.

- **Boro (B)**

O boro é um composto que ocorre na natureza. É um elemento de relativa abundância no sistema solar e na crosta terrestre. As maiores reservas mundiais de boro conhecidas (alguns ainda inexploradas) encontram-se na Turquia (Yilmaz, 2012); seguidos da Rússia e dos Estados Unidos, com menor expressão, na China, Chile, Peru, Bolívia, Argentina, no Cazaquistão (Kostick, 2008). Para os atuais níveis de consumo, os recursos mundiais de boro são adequados para o futuro previsível esclareceu Crangle (2018). Quase todo o minério de boro extraído da Terra destina-se ao refinamento em ácido bórico e tetraborato de sódio penta-hidratado. Nos Estados Unidos, aproximadamente 70% do boro é utilizado para a produção de vidro e cerâmicas (Crangle Jr. (2017b) e (Hammon, 2004);

O boro é muitas vezes encontrado combinado com outras substâncias para formar compostos chamados boratos. Os depósitos de boratos estão associados à atividade vulcânica e aos climas áridos, com os maiores depósitos economicamente viáveis localizados no deserto de Mojave (EUA), no Alpine-Himalayan, no sul da Ásia (que se estende de Java para Sumatra através do Himalaia, Mediterrâneo para o Atlântico) e no cinto andino (Andean belt - Cordilheira na Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador e Peru) da América do Sul (Crangle, 2018a). Os compostos comuns de borato incluem ácido bórico, sais de boratos e óxido de boro.

Os boratos são usados principalmente para produzir vidro. Também são usados em retardadores de fogo, combustíveis de alta energia, nas indústrias de curtimento de couro, nos cosméticos, materiais fotográficos, ímans, semicondutores, em sabões, detergentes, agentes de branqueamento e corantes (Yilmaz, 2012), aplicações farmacêuticas e biológicas entre outros. A agricultura consome cerca de 11% da produção global de boro; alguns pesticidas/inseticidas e alguns conservantes de madeira também podem conter boratos (ATSDR, 2017b).

A principal utilização industrial à escala mundial de compostos de boro (cerca de 46% da aplicação final) resulta da produção de fibra de vidro sendo o boro adicionado na forma de óxido de boro (Maden, 2013). O rápido aumento na citada produção, essencialmente na Ásia, impulsionou a procura. O óxido de boro também é habitualmente utilizado no fabrico de vidro de borosilicato (reconhecido pelas donas de casa como o vulgar Pyrex). Tal facto torna o vidro duro e resistente ao calor.

O boro elementar, o óxido de boro, o ácido bórico, os boratos e muitos compostos são relativamente não tóxicos para seres humanos e animais (com toxicidade semelhante à do sal

de mesa). A DL50 (porção em que há 50% de mortalidade) para animais é de cerca de 6 g por kg de peso corporal. As substâncias com DL50 acima de 2 g são consideradas não tóxicas (Nielsen, 1997). O ácido bórico é mais tóxico para os insetos do que para os mamíferos e é rotineiramente utilizado como um inseticida nomeadamente contra formigas, pulgas e baratas (Klotz *et al.* 1994). Os boranos (compostos de hidrogénio de boro) e compostos gasosos similares são bastante venenosos. Como de costume, não é um elemento que seja intrinsecamente venenoso, mas a sua toxicidade depende da estrutura (Garrett, 1998; Calvert, 2002). Os boranos são altamente inflamáveis e requerem cuidados especiais ao manusear. O borohidreto de sódio apresenta um risco de incêndio devido à sua natureza redutora e à libertação de hidrogénio ao entrar em contato com o ácido. Os halogenetos de boro são corrosivos (UNEP, 1998).

O boro é necessário para o crescimento das plantas, mas um excesso de boro é tóxico para as mesmas e ocorre particularmente em solo ácido (Zekri e Obreza, 2016; Peverill *et al.*, 1999).

A substituição de outros materiais por boro é possível em detergentes, esmaltes, isolamentos e sabões. O percarbonato de sódio pode substituir boratos em detergentes, o que representa uma consideração ambiental. Alguns esmaltes podem usar outras substâncias produtoras de vidro, como os fosfatos. Os substitutos de isolamento incluem celulose, espumas e lãs minerais. Nos sabões, os sais de sódio e potássio de ácidos gordurosos podem atuar como agentes de limpeza e emulsionantes.

- **Germânio (Ge)**

Os únicos minerais rentáveis para a extração do germânio são a germanita (69% de germânio) e ranierita (7-8% do elemento); além disso está presente no carvão, na argirodita e noutros minerais. A maior quantidade, em forma de óxido (GeO_2), obtém-se como subproduto da obtenção do zinco ou de processos de combustão de carvão.

Embora seja produzido principalmente por esfalerite, também é encontrado em minérios de prata, chumbo e cobre. Outra fonte de germânio é a cinza volante de fábricas alimentadas a partir de depósitos de carvão que contêm germânio (Naumov, 2007b).

Os depósitos da Rússia estão localizados no extremo leste da ilha de Sakhalin e a nordeste de Vladivostok. Os depósitos na China estão localizados principalmente nas minas de lignite perto de Lincang, Yunnan; O carvão também é minado perto de Xilinhaote, Mongólia Interior (Höll *et al.*, 2007). Cerca de 120 000 t de germânio foram produzidas em 2010 em todo o mundo. (Guberman, 2011). Em 2017, foram produzidas 134 000 t. A China continua a ser o principal produtor mundial deste material. (Thomas, 2018). Um relatório publicado pela União Europeia identificou o germânio como 1 de 14 matérias-primas que estão em uma lista de preocupações críticas de fornecimento para os seus países membros. A determinação foi baseada no nível de produção de cada material, substituíbilidade e taxa de reciclagem, bem como riscos associados à localização das fontes de abastecimento.

O germânio "metal" (isolado) é utilizado como semicondutor em transístores e vários outros dispositivos eletrónicos (em radares, amplificadores de guitarras elétricas, ligas metálicas de SiGe (sílcio-germânio), em circuitos integrados de alta velocidade, em transístores e foto detetores), na produção de fibras óticas e equipamentos de visão noturna.

Alguns dos compostos do germânio (tetracloreto de germânio) são bastante reativos. Apresentam uma certa toxicidade nos mamíferos, porém são letais para algumas bactérias e representam na exposição um risco imediato para a saúde humana. Por exemplo, o cloreto de germânio e o gene (GeH₄) são um líquido e gás, respetivamente, que pode ser muito irritante para os olhos, pele, pulmões e garganta (Winkler, 1887).

As aplicações do germânio estão limitadas ao seu alto custo e em muitos casos estuda-se a sua substituição por materiais mais económicos afirmou Thomas (2018). O sílcio pode ser um substituto menos dispendioso para o germânio em certas aplicações eletrónicas. Alguns compostos metálicos podem ser substituídos em aplicações eletrónicas de alta frequência e em algumas aplicações de díodos emissores de luz. O seleneto²⁰ de zinco e vidro de germânio substitui o germânio "metal" em sistemas de aplicações infravermelhas mas muitas vezes, em detrimento do desempenho. O titânio tem potencial para ser um substituto como catalisador de polimerização.

- **Sílcio (Si)**

O sílcio é o segundo elemento mais comum no universo em massa, mas muito raramente ocorre como o elemento puro na crosta terrestre, (cerca de 28% em massa afirmou Nave (1996). É amplamente distribuído em poeiras, areias, como várias formas de dióxido de sílcio (sílica) ou silicatos. Mais de 90% da crosta da Terra é composta por minerais de silicato.

Os recursos mundiais e domésticos para a fabricação de metal e ligas de sílcio são abundantes e na maioria dos países produtores, são adequados para suprir os requisitos mundiais por muitas décadas. A fonte do sílcio é a sílica em várias formas naturais, como o quartzito (Schenebele, 2018c).

A maioria do sílcio é utilizada comercialmente sem ser separado, e muitas vezes com pouco processamento dos minerais naturais. Tal uso inclui construção industrial com argilas, areia de sílica e pedra. Os silicatos são usados em cimento *portland*²¹ para argamassa e estuque, e misturados com areia de sílica e cascalho para fazer betão para calçadas, fundações e estradas. Eles também são usados em cerâmicas de tez branca, como porcelana, e no vidro tradicional de soda-lima à base de quartzo e muitos outros óculos de especialidade. Os

²⁰ Seleneto de zinco é um composto químico binário (ZnSe) e um semicondutor intrínseco.

²¹ O cimento Portland pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. É um tipo de cimento bastante utilizado na construção pela alta durabilidade e resistência.

compostos de silício, como o carboneto de silício, são utilizados como abrasivos e componentes de cerâmicas de alta resistência.

As pessoas podem ser expostas ao silício no local de trabalho, respirando, engolindo, em contato com a pele e contato com os olhos. The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) estabeleceu o limite legal (limite de exposição admissível) para a exposição ao silício no local de trabalho como exposição total de 15 mg / m³ e exposição respiratória de 5 mg / m³ durante uma jornada de trabalho de 8 horas. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho (NIOSH) estabeleceu um limite de exposição recomendado (REL) de exposição total de 10 mg / m³ e exposição respiratória de 5 mg / m³ ao longo de uma jornada de 8 horas (Lenntech, 2018).

A USGS (Schenebele, 2018c) indica que o alumínio, o carboneto de silício e o silico-manganês podem ser substituídos por ferrossilício em algumas aplicações. O arsenieto de gálio e o germânio são os principais substitutos do silício em aplicações de semicondutores e infravermelhos.

- **Telúrio (Te)**

Telúrio é um metaloide quebradiço, levemente tóxico e raro (70^a posição em 78 materiais). Amostras de telúrio não combinado podem ser encontradas às vezes, mas são extremamente raras. Existem alguns minerais de telúrio (calaverite, sylvanite, tellurite), mas nenhum é extraído como fonte do elemento. O telúrio é quimicamente relacionado ao selênio e ao enxofre. É ocasionalmente encontrado na forma nativa como cristais elementares. O telúrio é muito mais comum no universo como um todo do que na Terra. Sua extrema raridade na crosta terrestre, comparável à da platina, deve-se em parte ao seu alto número atômico, mas também à formação de um hidreto volátil que o faz perder espaço como gás durante a formação nebulosa do planeta. Os principais produtores são EUA, Canadá, Peru e Japão. As reservas deste elemento não foram avaliadas (Lenntech, 2018).

Os dados sobre os recursos de telúrio não estavam disponíveis, segundo a USGS (Anderson, 2018c). Mais de 90% do telúrio foi produzido a partir de esferas de ânodo coletadas da refinação de cobre eletrolítico, e o restante foi derivado de esmaltes em refinarias de chumbo e de poeiras e gases gerados durante a fundição de minérios de bismuto, cobre e chumbo-zinco. Outras fontes potenciais de telúrio incluem telureto de bismuto e minérios de telureto de ouro.

Os compostos de telúrio são considerados tóxicos e precisam de ser manuseados com cuidado, embora a intoxicação aguda seja rara. O envenenamento por telúrio é particularmente difícil de tratar, pois muitos agentes utilizados no tratamento da intoxicação por metais aumentarão a toxicidade do telúrio. Felizmente, os compostos de telúrio são encontrados raramente pela maioria das pessoas. Todavia eles são mutagénicos e só devem ser manipulados por químicos competentes (Lenntech, 2018). O telúrio não é relatado como cancerígeno

(Harrison *et al.*, 1998). Quanto ao aspeto ambiental, este material quando aquecido para a decomposição, o cloreto de telúrio pode emitir fumos tóxicos de telúrio e cloro. Contudo não é prejudicial ou é prontamente tornado inofensivo por processos naturais (Meija *et al.*, 2016).

As aplicações em painéis solares e semicondutores de cádmio CdTe também consomem uma parcela considerável da produção de telúrio. Os testes laboratoriais do Laboratório de Energia Renovável do telúrio demonstraram algumas das maiores eficiências para geradores de energia elétrica de células solares. A produção comercial massiva de painéis solares CdTe pela First Solar nos últimos anos aumentou significativamente a procura deste material (Fthenakis *et al.*, 2008; Zweibel, 2010). O maior consumidor de telúrio é a metalurgia em ferro, aço inoxidável, cobre e ligas de chumbo. A adição ao aço e ao cobre produz uma liga mais maquinável. No chumbo, o telúrio melhora a força e a durabilidade e diminui a ação corrosiva do ácido sulfúrico (Uskali e Nordfors, 2007).

O telúrio pode ser substituído por outros metais na grande maioria das aplicações, mas geralmente com perdas de eficiência ou características do produto. O bismuto, o cálcio, o chumbo, o fósforo, o selénio e o enxofre podem ser usados em lugar de telúrio em muitos aços. Na composição de borracha, o enxofre e (ou) o selénio podem atuar como agentes de vulcanização em lugar de telúrio. Os selenídeos e sulfetos de nióbio e tântalo podem servir como lubrificantes sólidos elétricos condutores. Os fotorreceptores de selénio-telúrio utilizados em algumas fotocopiadoras de papel comum e impressoras a laser foram substituídos por fotorreceptores orgânicos em novos dispositivos. O silenciador amorfo de silício e cobre, de índio e gálio foram os dois principais concorrentes do CdTe (composto de cádmio e telúrio, um poderoso material para células solares normalmente montado em *sandwich* com sulfeto de cádmio para formar uma junção *p-n* de célula solar fotovoltaica) em células solares de película fina.

3.2.3. Não Metais

Tabela 33. Grupo dos Não-metais. Na coluna correspondente ao Risco de oferta é assinalada a numeração correspondente à posição do Ranking de Abundância de Elementos na Crosta Terrestre em 78 elementos (conforme fontes na página 110, oitava alínea).

Não Metais (t)	Risco de oferta			Risco de toxicidade						
	Raro/ Escasso	Mediano	Abundante	Ecotóxico	Toxicidade (aguda)	Infec./ Cancerígeno	Corrosivo	Mutagénico	Alguma toxicidade	Pouca ou isento
Bromo (Br)	59									
Enxofre (S)			17							
Iodo (I)	63									
Selénio	67									

- **Bromo (Br)**

O bromo é um elemento natural que pode ser encontrado em muitas substâncias inorgânicas. Na rocha, o bromo natural ocorre naturalmente como sais de brometo. Os sais de brometo acumulam na água do mar (65 ppm), em lagos evaporíticos (sal) e salmoura subterrânea associada a depósitos de petróleo. O Mar Morto, no Oriente Médio, é estimado mil milhões de toneladas de bromo. Os brominhos orgânicos não são muito biodegradáveis (Schnebele, 2018a).

Os três principais países produtores são os EUA, Israel e o Reino Unido. Neste último caso, é extraído da água do mar e de algas marinhas, no País de Gales.

Os seus compostos não naturais, podem causar sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente. Devido aos seus efeitos nocivos sobre microrganismos quando são aplicados em estufas e nas terras cultiváveis, diluem-se nas águas superficiais, o que tem efeitos negativos para a saúde sobre dáfnias, peixes, lagostas e algas. Os brominhos orgânicos são amplamente utilizados como inseticidas, em pulverizações para matar insetos e outras pragas indesejadas, não sendo biodegradáveis. Infelizmente não são apenas venenosos para os insetos, mas também para animais de maior porte, inclusive os humanos.

O bromo molecular é utilizado numa diversidade de compostos de bromo destinados à indústria e à agricultura. A maior aplicação do bromo é a produção de brometo de etileno, utilizado em combustíveis para motores, com o intuito de evitar a acumulação de chumbo no interior dos cilindros. Embora em menores quantidades, este elemento é também aplicado como corante, desinfetante, inseticida, como agente branqueador e sanitário (na purificação de águas) e na fotografia (brometo de prata AgBr).

O bromo elementar é tóxico e causa queimaduras químicas na carne humana. Ou seja, é considerado corrosivo para o tecido humano (no estado líquido) e os seus vapores irritam os olhos e a garganta, sendo classificados como muito tóxicos por inalação afetando o sistema respiratório (mas também o genético, o digestivo, o nervoso e inclusivamente causar cancro). (Lenntech, 2018). O OSHA (Administração da Segurança e Saúde do Trabalho) e o NIOSH (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional) nos Estados Unidos estabeleceram um limite de exposição permitido (PEL - Permissible Exposure Limit /REL - Recommended Exposure Limit, respetivamente) para o bromo numa média ponderada no tempo (TWA - Time Weighted Average) de 0,1 ppm e um limite de curto prazo de 0,3 ppm (ou seja a exposição ao bromo IDLH - Imminent Danger to Life and Health, considerada perigosa para a vida e a saúde (CDS, 2017). O brometo é classificado como uma substância extremamente perigosa conforme definido na Seção 302 da Lei de Planeamento de Emergência e Direito de Conhecimento da Comunidade dos Estados Unidos (42 USC 11002) e está sujeita a requisitos rigorosos de relatórios por instalações que produzem, armazenam ou o utilizam em quantidades significativas (GPO, 2017).

Segundo indicações da USGS, em certas reações químicas e para fins de saneamento o cloro e o iodo podem ser substituídos por bromo. Como os plásticos têm baixa temperatura de

ignição, o hidróxido de alumínio, o hidróxido de magnésio, compostos orgânicos de cloro e compostos de fósforo podem ser substituídos por bromo como retardadores de fogo em algumas utilizações. Não existem substitutos comparáveis para o bromo em várias aplicações de preenchimento de poços, depósitos de gás e em máquinas embaladoras (Schnebele, 2018a).

- **Enxofre (S)**

O enxofre é facilmente reconhecido na forma de cristais amarelos que ocorrem em diversos minerais de sulfito e sulfato, ou na sua forma pura (especialmente em regiões vulcânicas). É o 17º elemento em ordem de abundância, constituindo 0,034% em peso na crosta terrestre, encontrado em grandes quantidades na forma de sulfetos (galena) e de sulfatos (gesso) (Apodaca, 2017). Na forma nativa é descoberto junto a fontes termais, zonas vulcânicas e especificamente em minas de cinábrio, galena, esfalerita e estibina. A vida na Terra pode ter sido possível por causa do enxofre. As iniciais condições no oceano eram tais que as reações químicas simples poderiam gerar a gama de aminoácidos que correspondem aos elementos básicos da vida (Apodaca, 2017).

Os recursos de enxofre elementar ou agregado de enxofre com gás natural, o petróleo, as areias betuminosas e os sulfetos metálicos, totalizam cerca de 5 mil milhões de toneladas. O enxofre em gesso e a anidrita é quase ilimitado e 600 mil milhões de toneladas de enxofre e estão contidas em carvão e xisto rico em orgânicos. A produção dessas fontes exigiria o desenvolvimento de métodos de extração com baixo-custo. O recurso doméstico de enxofre (EUA) é de cerca de um quinto do total mundial (Apodaca, 2012).

O enxofre elementar não é tóxico, assim como a maioria dos sais de sulfato solúveis, como os sais de Epsom. Os sais de sulfato solúveis são mal absorvidos e laxantes (Lenntech, 2018). Na água, este gás produz ácido sulfúrico e sulfitos, sendo que estes últimos são antioxidantes que inibem o crescimento de bactérias aeróbias e que atuam como um aditivo alimentar, em pequenas quantidades. Em altas concentrações, estes ácidos prejudicam os pulmões, olhos ou outros tecidos. O trióxido de enxofre (feito por catálise a partir de dióxido de enxofre) e ácido sulfúrico são considerados igualmente altamente ácidos e corrosivos na presença de água.

A queima de carvão e/ou petróleo pela indústria e as pelas fábricas é geradora de dióxido de enxofre (SO₂) que reage com água atmosférica e o oxigénio para produzir ácido sulfúrico (H₂SO₄) e ácido sulfuroso (H₂SO₃). Esses ácidos são componentes da chuva ácida, reduzindo o pH do solo e os corpos de água doce, ocasionando danos substanciais ao meio ambiente e implicações químicas quando se tratam de esculturas e determinadas estruturas, expostas ao ar livre.

É utilizado em fertilizantes, além de ser constituinte da pólvora e do processo de vulcanização da borracha, assim como é usado em aplicações tão díspares como na produção de ácido sulfúrico para baterias, em medicamentos laxantes, em palitos de fósforos e em inseticidas.

- **Iodo (I)**

O iodo ocorre em muitos estados de oxidação, incluindo iodeto (I⁻), iodato (IO₃⁻) e os vários aniões periodatos. É o menos abundante dos halogéneos estáveis, sendo o elemento mais abundante da sexagésima primeira. É ainda menos abundante do que as chamadas terras raras. É o nutriente mineral essencial mais pesado. Os produtores dominantes de iodo hoje são o Chile e o Japão. A água do mar contém 0,06 partes por milhão de iodo ou aproximadamente 90 mil milhões de toneladas. As algas da família *laminaria* são capazes de extrair e acumular até 0,45% iodo. Embora não tão económico como a produção de iodo como um subproduto de gás, nitratos e petróleo, a indústria das algas marinhas representou uma importante fonte de iodo e continua a ser um grande recurso (Schnebele, 2017a).

A deficiência de iodo afeta cerca de dois mil milhões de pessoas e é a principal causa evitável de deficiência intelectual.

O iodo e seus compostos são utilizados principalmente na nutrição. Mais metade de todo o iodo produzido entra em vários compostos de organoiodo (ligações carbono-iodo); 15% permanecem como elemento puro; 15% são utilizados para formar iodeto de potássio e outros 15% para outros compostos inorgânicos de iodo. Os 5% restantes são para uso secundário. Entre os principais usos dos compostos de iodo estão os catalisadores, estabilizadores, corantes, corantes e pigmentos, produtos farmacêuticos, suplementos alimentares para animais, saneamento (de tintura de iodo) e aplicações na fotografia; Pequenos usos incluem inibição de poluição atmosférica, várias utilizações em química analítica (Bochove, 2017). Devido ao seu alto número atómico apresenta vantagens como um material (de tórax). Devido à especificidade de sua absorção pelo corpo humano e à sua facilidade de ligação aos compostos orgânicos (não tóxico), os isótopos radioativos do iodo também podem ser usados para tratar o cancro da tireoide (Greenwood e Earsnshaw, 1997). O iodo também é usado como catalisador na produção industrial de ácido acético e alguns polímeros

O iodo elementar (I₂) é tóxico se for tomado por via oral sem diluir e o seu vapor irrita os olhos e os pulmões. Todos os iodetos são tóxicos se tomados em excesso. O iodo 131 é um dos radionuclídeos envolvidos no teste atmosférico de armas nucleares, que começou em 1945. O iodo 131 aumenta o risco de cancro e possivelmente é causador de outras doenças (Lenntech, 2018). A porção letal para um adulto humano é de 30 mg / kg, que é cerca de 2,1 a 2,4 gramas para um humano (de 70 a 80 kg) O excesso de iodo pode ser mais citotóxico na presença de deficiência de selénio (Smyth, 2003). A toxicidade deriva de suas propriedades oxidantes, através das quais desnatura proteínas (incluindo enzimas) (Yerkes, 2007). Podem dar-se casos de hipersensibilidade a produtos e alimentos que contenham iodo. As aplicações de tintura de iodo ou Betadine podem causar erupções cutâneas por vezes graves. Este produto utilizado por um período mais longo contra a pele resultou em queimaduras químicas em casos comprovados e os cristais sólidos de iodo devem ser manuseados com cuidado. As soluções com alta concentração de iodo elementar, como a tintura de iodo, são capazes de causar danos nos tecidos se forem usados em limpeza prolongada (Lowe *et al.*, 2006; Hartley, 2010).

Não existem substitutos comparáveis para o iodo em muitas das suas principais aplicações, tais como a alimentação animal, o uso catalítico, nutricional, farmacêutico e fotográfico. A bromina²² e cloro podem ser substituídos por iodo em biocidas, corantes e tinta, embora geralmente sejam considerados menos desejáveis do que o iodo. Os antibióticos podem ser utilizados como substituto dos biocidas de iodo (Schnebele, 2018b).

- **Selénio (Se)**

O selénio é um dos elementos mais raros da superfície deste planeta sendo menos raro do que o mercúrio e a prata. O selénio está presente na atmosfera como derivados metílicos. Este material não combinado é encontrado ocasionalmente e existem cerca de 40 minerais conhecidos com selénio, alguns dos quais podem ter até 30% de selénio - mas todos são raros e geralmente ocorrem junto com sulfetos de metais, como cobre, zinco e chumbo. Os principais países produtores são o Canadá, EUA, Bolívia e Rússia. A produção industrial global de selénio é de cerca de 2 200 toneladas por ano (2016) e cerca de 150 toneladas de selénio são recicladas de resíduos industriais e recuperadas de fotocopiadoras antigas. As reservas de selénio são baseadas em depósitos de cobre identificados com teor médio de selénio. O carvão geralmente contém entre 0,5 e 12 partes por milhão de selénio, ou cerca de 80 a 90 vezes a média de depósitos de cobre. A recuperação deste material a partir de cinzas volantes de carvão, embora tecnicamente viável, não parece ser económica no futuro previsível, segundo o parecer da USGS (Schnebele, 2017c).

O selénio ocorre naturalmente no meio ambiente. Os níveis de selénio nos solos e nas águas aumentam, porque assim como este se encontra disperso através de processos naturais as atividades humanas evoluíram com recurso a este material como processos industriais e agrícolas. O comportamento do selénio no ambiente depende fortemente das suas interações com outros compostos e as condições ambientais num determinado local em determinado momento.

Existem evidências de que o selénio se pode acumular nos tecidos corporais dos organismos e pode ser transmitido através da cadeia alimentar. A absorção de selénio através de alimentos pode ser maior do que o habitual em muitos casos, porque no passado muitos fertilizantes ricos em selénio eram aplicados nas terras agrícolas. Normalmente, esta bio ampliação do selénio começa quando os animais comem plantas que absorvem grandes quantidades deste não-metal. Devido às concentrações de cisão de selénio, este tende a ser muito elevado em organismos aquáticos. Quando os animais absorvem ou acumulam concentrações extremamente elevadas de selénio, pode causar defeitos congénitos e insuficiência reprodutiva.

Os produtos alimentares geralmente contêm selénio suficiente para prevenir doenças causadas por escassez. A exposição ao selénio ocorre principalmente através de alimentos,

²² Bromina é uma substância extraída de algumas plantas marinhas.

porque está naturalmente presente no peixe, carne, grãos e cereais. Os seres humanos precisam de absorver certas quantidades de selénio diariamente, a fim de manter uma boa saúde, no entanto tal como a maioria dos materiais, é tóxico se tomado em excesso (Lenntech, 2018).

O selénio elementar e a maioria dos selenetos metálicos têm toxicidades relativamente baixas devido à baixa biodisponibilidade, em contrapartida, selenatos e selenitos têm um modo de ação oxidante semelhante ao do trióxido de arsénio e são muito tóxicos. O selénio radioativo utilizado na medicina de diagnóstico é um potencial agente cancerígeno em seres humanos (ATSDR, 2017d). O seleneto de hidrogénio é um gás extremamente tóxico e corrosivo (Olson, 1986). A exposição ao selénio através do ar só ocorre geralmente no local de trabalho. Quando esta é extremamente alta, pode ocorrer armazenamento de líquido nos pulmões e originar bronquite. Pode inclusive causar irritação das mucosas, tonturas e fadiga. A dose tóxica crónica de selenite para humanos é de cerca de 2 400 a 3 000 microgramas de selénio por dia (Wilber, 1980). Estes casos extremos de excesso (selenose) podem provocar cirrose do fígado, edema pulmonar ou morte (ATSDR, 2017e).

A maioria do selénio processado é usado em fotocopiadoras, máquinas de deteção de raios X, na indústria eletrónica como baterias, mas também é utilizada como aditivo alimentício nutricional para aves de capoeira e gado; na indústria do vidro; como componente de pigmentos em plásticos, tintas, esmaltes, e borrachas; na preparação de produtos farmacêuticos; como constituinte de fungicidas e pesticidas; na produção de borracha; como um ingrediente em shampoos anticaspa; entre outros.

O silício é o principal substituto do selénio em retificadores de baixa e média tensão. Os pigmentos orgânicos foram desenvolvidos como substitutos dos pigmentos de sulfoseleneto de cádmio. Outros substitutos incluem óxido de cério como um corante ou descolorante em vidro; telúrio em pigmentos e borracha. Os fotorreceptores de selénio-telúrio utilizados em algumas fotocopiadoras de papel comum e impressoras a laser foram substituídos por fotorreceptores orgânicos em máquinas novas. O telurídeo amorfo de silício e cádmio são os dois principais concorrentes com CIGS (Copper Indium Gallium Selenide ($\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$)) - um material absorvente semicondutor para células solares fotovoltaicas de película fina, segundo dados da USGS (Anderson, 2018b).

3.2.4. Minerais

- **Amianto**

O amianto ou asbesto é o nome dado a um grupo de seis minerais fibrosos diferentes (amosite, crisotila, crocidolita e as variedades fibrosas de tremolita, actinolite e antofilita) que ocorrem naturalmente no meio ambiente. Em si é um material com grande flexibilidade e resistências (química, térmica, elétrica e à tração) muito elevadas. Os minerais de amianto possuem feixes de fibras extremamente finas e longas separáveis, com tendência a produzir um pó à escala nano de partículas que flutuam no ar e que aderem naturalmente às roupas. As fibras, bastante resistentes ao calor, apesar de fortes e flexíveis o suficiente para serem fiadas

e tecidas são facilmente inaladas ou engolidas podendo causar graves problemas de saúde (ATSDR, 2017a).

A informação disponível dos recursos globais de amianto, afirmou Flanagan (2018a) é insuficiente para fazer estimativas precisas em muitos países. No entanto, os recursos mundiais existem e são mais do que adequados para atender à procura.

As diferentes variedades de amianto são agentes cancerígenos, devendo a exposição a qualquer tipo de fibra de amianto ser reduzida ao mínimo. Flanagan (2017a) refere-o como amplamente utilizado na fabricação de materiais para a construção civil ao longo de décadas (como telhas, tetos e pavimentos, juntas, elementos pré fabricados constituídos por fibrocimento, portas corta-fogo, tijolos refratários, caldeiras, revestimentos, entre outros). O amianto foi igualmente utilizado para uma ampla gama de produtos manufaturados tais como tanques, produtos de papel, produtos de fricção (embraiagem de automóveis, freio e peças de transmissão), tecidos resistentes ao calor, embalagens, entre outros (DGS, 2018).

O consumo de minerais de amianto nos EUA diminuiu de forma constante durante as últimas décadas, caindo de um recorde de 803 mil toneladas em 1973 para cerca de 340 toneladas em 2016. Este declínio ocorreu como resultado de problemas de saúde e de responsabilidade associados à utilização do amianto, levando à procura de materiais alternativos/substitutos e ao desenvolvimento de novas tecnologias (Flanagan, 2017a).

O amianto foi incluído no grupo principal de substâncias cancerígenas pela Organização Mundial da Saúde, porém ainda é amplamente comercializado em vários países, apesar de muitos defenderem a sua proibição total. Segundo a organização, 125 milhões de pessoas estão expostas à substância em todo o mundo e pelo menos 107 mil morrem anualmente de doenças associadas a esta (DGS, 2018). Por esse motivo, o amianto já foi banido em mais de 60 países (Asbestos removal now, 2017). As fibras microscópicas podem depositar-se nos pulmões e aí permanecer por muitos anos, podendo vir a provocar doenças, vários anos ou décadas mais tarde, inclusive o cancro gastrointestinal e do pulmão.

Como consequência da proibição quase generalizada de utilização de amianto têm surgido numerosos materiais como seus possíveis substitutos. No entanto, nenhum deles se mostrou tão versátil como o próprio asbesto. Segundo Flanagan (2018a), são numerosos os materiais que substituem o amianto. Incluem silicato de cálcio, fibra de carbono, fibra de celulose, fibra cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço, wollastonite e várias fibras orgânicas, como aramida, polietileno, polipropileno e politetrafluoroetileno. Minerais ou rochas, tais como perlite, serpentina, sílica, e talco, também são considerados como possíveis substitutos do amianto para produtos em que as propriedades de reforço não são necessariamente fibras.

Tabela 34. Grupo dos Minerais.

Minerais (t)										
	Raro/ Escasso	Mediano	Abundante	Ecotóxico	Toxidade (aguda)	Infec./Cancerígeno	Corrosivo	Mutagénico	Alguma toxidade	Pouca ou isento
ND* Não disponível										
Amianto										
Barita (BaSO ₄)										
Cal (CaO)										
Sódio (Na)										
Cianite (Al ₂ SiO ₅)										
Cimento										
Cristal de Quartzo (SiO ₂)										
Feldspato										
Fluorite (CaF ₂)										
Fosfato de Rocha (P ₂ O ₅)										
Gipsita Ca[SO ₄] • 2H ₂ O										
Grafite (C)										
Mica										
Minerais de titânio (Ti)										
Molibdénio (Mo)										
Perlite (SiO ₂)										
Rutilo (TiO ₂)										
Talco (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)										
Terras-raras										
Vermiculita (Mg,Fe,Al) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ •4H ₂ O										
Wollastonita (CaSiO ₃)										
Zircónio (40Zr)										

- **Barita (BaSO₄)**

É um mineral de sulfato de bário. O grupo barita consiste em barita, celestina, anglesita e anidrita (Dana *et al*, 1915). A barita ocorre num grande número de ambientes sendo depositado através de uma grande diversidade de processos, incluindo biogénicos, hidrotermais, de evaporação, entre outros (Hanor, 2000).

Cerca de 90% da produção de barita é utilizada para aumentar a densidade das lammas de perfuração na indústria petrolífera. Também é utilizada no fabrico de tintas e de papel.

A produção mundial em 2016 foi de cerca de 7,14 milhões de toneladas, 90% de barita oriunda de China, Índia, Marrocos, EUA, Turquia, México, Irão, Cazaquistão, Europa-27 e

Tailândia. Os principais consumidores de barita em 2016 foram o Médio Oriente, EUA, China, Europa, Rússia, América do Sul, Índia, o continente Africano e o Irão (The Barytes Association, 2017). Nos Estados Unidos, os recursos identificados de barita foram estimados em 150 milhões de toneladas e os recursos não descobertos podem contribuir em mais de 150 milhões de toneladas. Os recursos mundiais de barite estão calculados em cerca de 2 mil milhões de toneladas, mas apenas 740 milhões (aproximadamente) de toneladas são recursos identificados. No entanto, McRae (2018) adverte que não é realizada nenhuma estimativa desde a década de 1980.

A barita é utilizada em aplicações de valor agregado que incluem enchimento em tinta e plásticos, redução de som nos compartimentos do motor, no revestimento de acabamentos com resistência à corrosão, em produtos de fricção para automóveis e camiões, no cimento protetor de radiação, em cerâmicas de vidro e aplicações médicas. Também é utilizada para produzir outros produtos químicos de bário, nomeadamente o carbonato de bário que é utilizado para a fabricação de vidro LED para televisão e ecrãs de computador e em dielétricos.

Embora a barita contenha um metal "pesado" (bário), não é considerado um produto químico tóxico devido à sua extrema insolubilidade (Rheochem, 2017).

No mercado da lama de perfuração, as alternativas à barite incluem celestia, ilmenita, minério de ferro e hematita sintética. Nenhum desses substitutos teve no entanto, um grande impacto neste material (McRae, 2018).

- **Cal (CaO)**

A cal, também chamada de cal viva, cal virgem ou óxido de cálcio, é obtida pela decomposição térmica do calcário num processo conhecido como calcinação. É um material branco, cáustico, alcalino e cristalino à temperatura ambiente. A pedra calcária é extraída de pedreiras ou minas. Está disponível geograficamente um pouco por todo o mundo, (a crosta da Terra contém mais de 4% de carbonato de cálcio) sendo utilizada para diversos propósitos segundo a associação EuLA (2017). Os recursos mundiais de produção de calcário são vastos e adequados às necessidades afirmou Corathers (2018a).

Só em 2016, 17 milhões de toneladas de cal viva e hidratadas foram produzidas nos EUA (excluindo valores de empresas comerciais independentes). Os principais mercados de cal, em ordem decrescente de consumo são a siderurgia, dessulfuração de gases de combustão, na construção, no tratamento de água, na mineração, indústria de papel e celulose e carbonato de cálcio precipitado (PCC - Precipitated Calcium Carbonate). A USGS refere que os dados da produção e reservas mundiais (2016) rondam as 350 000 t provenientes de países como a China, EUA, Índia, Rússia, Brasil, entre outros (Corathers, 2017).

A cal é utilizada na construção civil para elaboração de argamassas para alvenaria e na preparação dos processos de pintura. Também tem aplicações nas indústrias farmacêutica, metalúrgica, alimentícia, e noutros setores como na cerâmica. Na agricultura, o óxido de cálcio

é usado para produzir hidróxido de cálcio, que tem por finalidade o controlo da acidez dos solos (Feltre, 2000).

Devido à reação vigorosa da cal viva com água, este material causa irritação grave quando inalada ou colocada em contato com a pele ou os olhos húmidos, o que só por isso é classificado como um material perigoso (Bla, 2018). A inalação pode causar tosse e espirros. Pode inclusive evoluir para queimaduras com perfuração do septo nasal, dor abdominal, náuseas e vômitos. Embora a cal viva não seja considerada um risco de incêndio, a sua reação com a água pode libertar calor suficiente para inflamar materiais combustíveis (MSDS, 1996).

A pedra calcária é um substituto da cal em muitas aplicações, tais como como na agricultura, na fluxagem ou remoção de enxofre, referiu Corathers (2018a). O calcário, que contém material menos reativo, é mais lento para reagir e pode ter outras desvantagens se comparado com a cal, dependendo da aplicação; No entanto, o calcário é consideravelmente menos dispendioso do que a cal. O gesso calcinado é um material alternativo em emplastos industriais e argamassas. O cimento, a poeira de forno de cimento e as cinzas volantes são substitutos potenciais para alguns usos de construção com recurso à cal. O hidróxido de magnésio é um substituto da cal no controlo do pH e o óxido de magnésio é um substituto da cal dolomítica como fluxo na fabricação de aço.

- **Sódio (Na)**

O sódio é um elemento químico essencial. O sódio metálico emprega-se em síntese orgânica como agente redutor. É também componente do cloreto de sódio (NaCl) um componente muito importante encontrado em todo o ambiente vivo. O composto mais abundante de sódio é o cloreto de sódio, o sal comum de cozinha. Também se encontra presente em diversos minerais como anfíbolos, trona, halita, zeólitos e outros. Os sais de sódio são encontrados na água do mar (1,05%), em lagos salgados, alcalinos e na água mineral. Segundo Bolen (2017), a produção/reserva de sal mundial no ano de 2016 foi de cerca de 255 Mt; esta quantidade enorme é principalmente extraída de depósitos de sal.

O sódio reage rapidamente com água mas também com a neve e com o gelo, para produzir hidróxido de sódio e hidrogénio. O sódio é relativamente abundante nas estrelas, detetando-se sua presença através da linha D do espectro solar, situada aproximadamente na cor amarela. O sódio é o 6º elemento mais abundante na crosta terrestre, que contém 2,83% de sódio em todas as suas formas, e o mais comum entre os metais alcalinos (Lenntech, 2018).

O contato do sódio com água, incluindo a transpiração, provoca a formação de fumos de hidróxido de sódio, que são altamente irritantes para a pele, olhos, nariz e garganta. Exposições muito graves podem resultar em dificuldade em respirar, tosse e bronquite química. O metal deve ser sempre manipulado com muito cuidado e armazenado em atmosfera ou fluidos inertes (normalmente usam-se os hidrocarbonetos desidratados, como o querosene) evitando o contato com a água e outras substâncias com os quais o sódio reage. É aconselhável a utilização de óculos de proteção na manipulação deste material, pois os seus fragmentos, se os houver,

podem reagir violentamente com o fluido lacrimal. O contato com os olhos pode resultar em danos permanentes e perda de visão. O contato com a pele pode causar prurido, formigueliro, queimaduras térmicas, cáusticas e danos permanentes. Em caso de contato com a pele, jamais deve lavar-se com água mas sim com álcool, até a completa remoção do metal e posteriormente, tratar como uma queimadura por álcali cáustico, como o hidróxido de sódio.

Relativamente ao meio ambiente, a forma em pó de sódio é altamente explosiva na água e um veneno combinado e não combinado com muitos outros elementos sendo um material com preocupações relativas de ecotoxicidade que pode contaminar fontes de água e solos.

O sódio é essencial, mas controversamente à que respeitar as quantidades. A porção de sódio necessária a cada dia varia de indivíduo para indivíduo e de cultura para cultura. Algumas pessoas consomem apenas 2 g/dia.

As aplicações mais comuns são: melhorar a estrutura de certas ligas, em sabão, em combinação com ácidos graxos, em lâmpadas de vapor de sódio, em metais descalcificados, para purificar metais fundidos. É necessário carbonato de sódio sólido para fazer vidro.

- **Cianite (Al_2SiO_5)**

A cianite ou cianita é geralmente encontrada em pegmatitos metamórficos e muitas vezes é associada com granada e estaurolita ou rochas sedimentares ricas em alumínio (Wikisource, 2017).

Os recursos de cianite foram identificados no Brasil, Índia e Rússia, mas também nos EUA, na Índia e noutros países (Tanner, 2017a).

Dependendo do tipo de manipulação e utilização (e.g. moagem, secagem) pode gerar partículas que se espalham no ar. Este produto deve ser tratado com cuidado para evitar a inalação de pó e consequentes sintomas como tosse e falta de ar. A toxicidade aguda da cianite é desconhecida (MSDS, 2017).

A cianite é utilizada para fabricar produtos refratários, como tijolos, argamassas, fornos de alta temperatura e cerâmicos, incluindo a porcelana de alta resistência - uma porcelana que mantém a sua força a temperaturas muito altas - assim como na fabricação de objetos destinados à eletricidade (como o isolador de porcelana branca numa vela de ignição). A cianite é igualmente utilizada nas formas mais comuns de porcelana, como as aplicadas a próteses dentárias, pias e acessórios de casa de banho. Nas fundições, os moldes que são aplicados para moldar metais de alta temperatura podem ser feitos com cianite. Também está presente nas indústrias ferroviária e automóvel onde a resistência ao calor é importante. A resistência ao calor e a dureza da cianite tornam-na um excelente material para a fabricação de trituradores e serras de corte. Não é utilizada como o abrasivo primário; no entanto, faz parte do agente de ligação que mantém as partículas abrasivas em conjunto. Este material também pode ser

utilizado como pedra preciosa devido à sua cor. A mullite²³, uma forma de cianite calcinada, é utilizada para fazer sapatos de freio e revestimentos de embraiagem (Geology, 2017).

Para além dos dois tipos de mullite sintética (fundido e sinterizado), as argilas de fogo e materiais de alta alumina são substitutos da cianite em produtos refratários. As principais matérias-primas para a mullite sintética são a bauxita, ocaulino, outras argilas e areia de sílica (Tanner, 2018a).

- **Cimento**

O cimento é um material cerâmico o qual em contato com a água, produz uma reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, adquirindo determinada resistência mecânica. É o principal material de construção utilizado como aglomerante. O cimento é composto de clínquer, o principal item na composição de cimentos Portland, sendo a fonte de silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ e silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ e de adições que distinguem os diversos tipos existentes, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um. As adições são ou não utilizadas em função de suas distribuições geográficas.

Embora se comente que as reservas existentes estão sujeitas a esgotamento calcário entre outros cimentos crus/brutos, estes materiais são geologicamente generalizados e abundantes sendo que a escassez geral é considerada improvável (Oss, 2018). No ano de 2016, a China foi o principal produtor de cimento, seguida da Índia e dos EUA, entre outros países, num total de produção mundial de cerca de 4 200 000 t referiu a UGGS. (Oss, 2017). As fábricas de cimento funcionam na generalidade ao lado de jazidas de calcário e argila de modo a minimizar os custos de transporte. A extração destes materiais é feita com recurso a lavras de superfície, com auxílio de explosivos. As rochas extraídas são britadas até atingirem tamanhos de aproximadamente 200 mm ou menos, sendo transportadas para a fábrica em transportadores de correia.

Relativamente à toxicidade, o pó de cimento seco em contato com as mucosas pode causar irritação grave nos olhos ou nas vias respiratórias. Do mesmo modo, o cimento húmido é fortemente cáustico e pode facilmente causar queimaduras graves na pele, se não for prontamente lavado com água. Alguns oligoelementos, como o crómio podem causar dermatites alérgicas, a partir de impurezas naturalmente presentes nas matérias-primas utilizadas para produzir o cimento (Health and Safety Executive, 2011). Para os que manuseiam este material é aconselhável utilizar equipamento de proteção como luvas e roupas apropriadas (Pernie, 2011). Em 2010, o protocolo americano NESHAP - National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants, de controlo de emissões de gases perigosos para instalações de cimento entrou em efeito a setembro de 2015 e reduziu os níveis inaceitáveis de emissão de mercúrio e de outros poluentes. Muitas fábricas instalaram tecnologias de redução de emissões para cumprir

²³ A mullite ou porcelainita é um mineral de silicato raro de gênese pós-argila. É produzido durante vários processos de fusão e queima sendo utilizado como material refratário. Mullite está presente sob a forma de agulhas em de porcelana.

o NESHAP, mas não ficou claro se as tais modificações seriam economicamente viáveis para todos os fornos (alguns de tecnologia mais antiga). Uns teriam de ser encerrados e outros utilizados apenas com moderação, à luz dos limites do documento, com os consequentes efeitos proporcionais na capacidade total de produção de clínquer dos EUA (Oss, 2017).

Como é sabido, a maioria do cimento *portland* é utilizado para fazer betão, argamassas ou estuques no setor de construção. Pode rivalizar com outros materiais como a argila, o vidro, o alumínio, a fibra de vidro, o asfalto, o gesso (gesso), o aço, a pedra e a madeira (Oss, 2018).

- **Quartzo (SiO_2)**

O quartzo é o 2º mineral mais abundante da Terra (aproximadamente 12% vol.), posterior ao grupo dos feldspatos. O quartzo é um componente determinante do granito, um componente comum do xisto, do quartzito e de outras rochas metamórficas. Enquanto a maioria do quartzo cristaliza a partir de magma fundido, muito deste material surge quimicamente de veias hidrotermais (quentes) às vezes com minérios como o ouro, a prata e o cobre. Existem diversas variedades de quartzo, alguns chegando a ser considerados pedras semipreciosas.

As suas aplicações vão desde os setores da eletrónica (osciladores), relojoaria e computadores, aos rádios, na construção civil, em determinadas ferramentas e utensílios, em fibra ótica, no setor químico, entre outros.

O quartzo é considerado um material não tóxico por não possuir efeitos adversos conhecidos sobre a saúde, por ingestão. (Hansen, 2017). No entanto, pode representar riscos consideráveis em relação à inalação a longo prazo, com efeitos irreversíveis (Reuzel *et al.*, 1991). O Jornal de Pneumologia (2002) refere que existem evidências de que os mineradores, trabalhadores das pedreiras, cortadores de pedra ou daqueles que manipulam rochas que contém o quartzo, podem sofrer de uma doença pulmonar denominada de silicose pulmonar, precisamente causada pela inalação de pó/poeira de sílica (quartzo).

- **Feldspatos**

Os feldspatos (KAlSi_3O_8 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) são uma importante família de minerais, do grupo dos tectosilicatos, formadores de rocha que representam cerca de 41% da crosta terrestre (Anderson e Anderson, 2010). Os feldspatos cristalizam a partir do magma como veias em rochas ígneas²⁴ intrusivas e extrusivas e também estão presentes em muitos tipos de rochas metamórficas (Metamorphic Rocks, 2007). O feldspato também é encontrado em muitos tipos de rochas sedimentares (WebCite, 2007).

De acordo com a USGS (McRae, 2017a) cerca de 23 000 t de feldspato foram produzidas em 2016, principalmente por três países: Turquia, Itália e China. Os recursos identificados e os

²⁴ As rochas ígneas são um dos três principais tipos de rocha (sendo que as outras são as rochas sedimentares e as rochas metamórficas). A formação das rochas ígneas provém do resultado da consolidação devida ao resfriamento do magma derretido ou parcialmente derretido. Elas podem ser formadas com ou sem a cristalização, ou abaixo da superfície como rochas intrusivas (plutônicas) ou próximo à superfície, sendo rochas extrusivas (vulcânicas).

não descobertos do feldspato são mais do que adequados para atender às expectativas da procura mundial segundo Tanner (2018). Dados quantitativos sobre recursos de feldspato existentes em areias feldspáticas, granitos e pegmatites ainda não foram contabilizados. Uma ampla evidência geológica indica que os recursos são substanciais, embora nem sempre convenientemente acessíveis aos principais centros de consumo.

A manipulação deste material pode causar danos ou irritações oculares, corrosão ou irritação da pele. Pode inclusive causar danos aos pulmões através de inalação prolongada ou repetida (Laguna Clay, 2013).

As indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato. Essas requerem especificações físicas e químicas e um certo grau de uniformidade no suprimento do produto (Luz e Coelho, 2005). É uma matéria-prima comum utilizada na fabricação de vidro, cerâmica (incluindo isoladores elétricos, sanitários, cerâmicas, talheres e ladrilhos) e até certo ponto como enchimento e componente em tinta, plásticos e borracha.

O feldspato pode ser substituído em alguns dos seus usos finais por argilas, escórias de forno elétrico, misturas de feldspato-sílica, pirofilita ou talco.

- **Fluorite**

A fluorite é a forma de um mineral comum sendo composto basicamente de fluoreto de cálcio (CaF_2). Pertence aos minerais de halogenetos. Pode surgir em granitos e calcários ou ocorrer em veios hidrotermais juntamente com minerais metálicos. As jazidas mais importantes situam-se na Alemanha, Suíça, Inglaterra, Noruega, México, Canadá e Estados Unidos (Miller, 2011). Em 2016, a produção mundial deste elemento rondou 6,4 Mt, das quais 4,2 Mt foram realizadas pela China (McRae, 2017b).

Os recursos mundiais identificados de fluorite rondam os 500 milhões de toneladas. Quantidades gigantes de flúor estão presentes na rocha de fosfato. As reservas atuais dos EUA de rocha de fosfato estão estimadas em mil milhões de toneladas, contendo cerca de 72 milhões de toneladas de fluorite (100%), assumindo um teor de flúor médio de 3,5% na dita rocha fosfatada. As reservas mundiais de fluorite são equivalentes a 5 mil milhões de toneladas referiu Singerling (2018b).

A fluorite é relativamente pouco tóxica, se comparada a outros compostos fluoretados. Como qualquer outro composto, a sua ingestão é extremamente prejudicial nas porções acima do tolerável (Brizendine, 2017). No entanto, a fluorita pode ser muito perigosa para aqueles que lidam direta com este material ou quanto para aqueles que simplesmente vivem perto das minas. Ela contém flúor, um mineral solúvel que flui para lençóis de água subterrâneos e pode ser inalado na forma de pó. No sudoeste da China, a fluorose também foi associada à queima de carvão com níveis elevados de flúor - em particular, queima de interiores, inclusive como combustível para cozinhar (Jha *et al.*, 2013; Samal *et al.*, 2015). Também foram encontrados níveis de fluoreto potencialmente tóxicos em água de poços nos EUA (Felsenfeld e Roberts,

1991). Muitas comunidades rurais em toda a Índia, China e no sudeste da Ásia têm sido assoladas por surtos de problemas associados à fluorite.

É utilizada na siderurgia como fundente, na obtenção do ácido fluorídrico de onde se retira flúor e ítrio. Este material tem um potencial de aquecimento e é utilizado como refrigerante no ar dos automóveis, bem como na indústria vidreira, em esmalte e cerâmica. É inclusive, utilizada em ornamentos como colares, em instrumentos óticos, em cristais captadores de energia, entre outras aplicações.

Singerling (2018b) afirmou que a fluorite sintética poder ser recuperada pelas duas fábricas de conversão de hexafluoreto de urânio empobrecido do Departamento de Energia em Paducah, Kentucky e Portsmouth, Ohio, nos EUA. No entanto, o produto preferido é atualmente HF aquoso (Hydrogen Fluoride) em vez da fluorite. As escórias de fundição de alumínio, o bórax, o cloreto de cálcio, os óxidos de ferro, o minério de manganês, a areia de sílica e o dióxido de titânio têm sido utilizados como substitutos de fluorite.

- **Fosfato de Rocha**

Fosfato de Rocha é uma rocha sedimentar que contém grandes quantidades de minerais de fosfato. O teor de fosfato da fosforita (ou grau de fosfato) varia, de 4% a 20% (FAO, 2004) de pentóxido de fósforo (P₂O₅).

Os países com produção significativa incluem o Brasil, a Rússia, a Jordânia e a Tunísia. Historicamente, grandes quantidades de fosfatos foram obtidas a partir de depósitos em pequenas ilhas, como a Ilha de Natal e Nauru, mas essas fontes estão em grande parte esgotadas. Em 2016, a China, Marrocos e os EUA foram os maiores mineradores de rocha fosfática do mundo, com uma produção na ordem das 195 800 t, enquanto a produção global atingiu as 261 000 t (Jasinski, 2017). As reservas mundiais de rochas de fosfato são estimadas em 70 mil milhões de toneladas (Jasinski, 2018b).

Os depósitos de fosforita geralmente ocorrem em camadas extensas, que cobrem cumulativamente dezenas de milhares de quilómetros quadrados da crosta terrestre (Hogan, 2011). Ocorre principalmente como fosforitos marinhos sedimentares. Os maiores depósitos sedimentares são encontrados no norte da África, China, Oriente Médio e Estados Unidos (Jasinski, 2017a). Os fosforitos comercialmente extraídos ocorrem na França, Bélgica, Espanha, Marrocos, Tunísia e Argélia. Nos Estados Unidos, o fósforo foi extraído na Flórida, Tennessee, Wyoming, Utah, Idaho e Kansas (Klein e Hurlbut Jr., 1985).

O fosfato de rocha está classificado como material irritante para a saúde, para a pele, olhos e vias respiratórias (New Brunswick Laboratory, 2015).

O fósforo puro é utilizado para produzir produtos químicos para determinadas aplicações na indústria. O uso mais importante da pedra fosfática consiste na produção de fertilizantes fosfatados para a agricultura. Não existem substitutos para o fósforo na agricultura (Jasinski, 2018b). O fósforo está envolvido em numerosas funções das plantas, mas

essencialmente ajuda as mesmas a capturar a energia do sol e a dar início ao processo de fotossíntese.

- **Gipsita**

Gipsita, também chamada pedra de gesso, ou sulfato de cálcio hidratado (Ferreira, 1986) é um minério de cálcio $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. É o sulfato mais comum na crosta terrestre, ocorrendo em evaporitos ou na forma de camadas interestratificadas de folhelhos, calcário e argila, podendo também ser encontrado em meteoritos.

É aplicado essencialmente na fabricação de cimento, como também na fabricação de ácido sulfúrico, giz, vidros, esmaltes e gesso. É também utilizado como molde para fundição (com aplicação na metalurgia na formação de escória, entre outras utilizações), como desidratante e aglutinante. Além das aplicações na construção de produtos e na melhoria do solo (fornecedor de cálcio e enxofre), o gesso também é amplamente utilizado em misturas de pão e massa, como estabilizador em outros produtos alimentares (e.g. na produção de cerveja), como auxílio à extração de suco em frutas e vegetais e para estimular o crescimento das plantas.

Os Estados Unidos são um dos maiores produtores e consumidores mundiais de gipsita; enquanto a sua produção, em 2016, foi na ordem dos 15 500 t, a do Irão foi de 16 000 t e a China de 130 000t. Em termos mundiais, a indústria cimenteira é a maior consumidora, pois nos países desenvolvidos a indústria de gesso e seus derivados absorvem a maior parte da gipsita produzida. As reservas são grandes nos principais países produtores mas os dados da maioria não se encontram disponíveis. Os recursos estrangeiros são adequados e estão amplamente distribuídos. Em 2016, 81 países produziram gesso num total de 263 000t (Crangle Jr., 2017b).

Os produtos de gesso não são classificados como perigosos de acordo com o CHIP (Community Health Improvement Process). Um material não perigoso, não tóxico, inerentemente seguro, dentro dos limites toleráveis (GPDA, 2017). Os pós ou poeiras de gesso podem potencialmente irritar os olhos, a pele sensível ou irritar o sistema respiratório. A bactéria comum anaeróbica pode existir no gesso. Quando este fica húmido, a bactéria trabalha com o oxigénio na água e converte o sulfato de cálcio em sulfato de cálcio, produzindo um gás venenoso chamado sulfato de hidrogénio. A exposição prolongada pode tornar-se um grave risco para a saúde.

A gipsita não tem substituto prático na fabricação de cimento *portland*. Em construção, o cimento e a cal podem ser substituídos por gesso assim como as placas de gesso para parede podem ser substituídas por madeira, tijolos, cerâmicas, vidro, materiais metálicos ou plásticos. O gesso sintético gerado por vários processos industriais, incluindo o FGD (Flue Gas Desulfurization) é muito importante como substituto do gesso minado na fabricação das ditas placas de parede, na produção e aplicações agrícolas (em ordem decrescente por tonelagem). Em 2017, o gesso sintético representava aproximadamente 50% do total do fornecimento de gesso doméstico, redigiu a USGS (Crangle, 2018c).

- **Grafite**

A grafite é um alotro cristalino de carbono, um semimetal, um elemento nativo e uma forma de carvão (OKD, 2012), por outras palavras, é a forma mais estável de carbono sob condições padrão.

Os recursos domésticos dos EUA em grafite são relativamente pequenos, mas o resto dos recursos inferidos do mundo podem exceder 800 milhões de toneladas de grafite recuperável (Olson, 2017). Em 2016, foram extraídos na China 65% de grafite mundial (e consumiu 35%, mantendo práticas ambientais e trabalhistas pobres (USGS). A indústria de grafite na China tem sido objeto de um escrutínio particular e consequentemente algumas minas foram encerradas (Desjardins, 2016b; Transport Environmental (2017). A produção de grafite diminuiu no Canadá e aumentou em Madagáscar a partir de 2015. Estão assinalados novos depósitos e deverá dar-se início à mineração num futuro próximo em Madagáscar, Moçambique, Namíbia e Tanzânia (Olson, 2017).

Os recursos dos EUA de grafite são relativamente pequenos, referiu a USGS, mas os restantes recursos inferidos do mundo excedem 800 milhões de toneladas de grafite recuperável (Olson, 2018b).

A grafite natural é principalmente consumida para refratários, na fabricação de aço, em grafite expandida, em forros de freio, em revestimentos de fundição, em lubrificantes e baterias (Olson, 2009). Há 54 kg de grafite no ânodo da bateria de cada modelo S da Tesla. A referência de Benchmark Mineral Intelligence prevê que o mercado de ânodos da bateria com grafite (natural e sintética) irá triplicar de 80 000 t em 2015 para pelo menos 250 000 t no final de 2020. A procura deste material irá certamente influenciar os preços (Desjardins, 2016b).

O grafeno, que ocorre naturalmente em grafite, tem propriedades físicas únicas e está entre as substâncias conhecidas mais fortes. No entanto, o processo de separação da grafite exigirá mais desenvolvimento tecnológico.

A Administração da Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) definiu o limite legal (limite de exposição permitido) para a exposição à grafite no local de trabalho como uma média ponderada no tempo (TWA) de 15 milhões de partículas por pé cúbico (1,5 mg / m³) hora do dia útil. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) estabeleceu um limite de exposição recomendado (REL) de TWA 2,5 mg / m³ de poeira respirável ao longo de uma jornada de trabalho de 8 horas. Nos níveis de 1250 mg / m³, a grafite é considerada perigosa para a vida e para a saúde (CDS, 2015).

- **Mica**

A mica, do latim *micare* (brilho), é um termo genérico aplicado ao grupo dos minerais constituídos por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro, magnésio, eventualmente lítio, com diferentes composições químicas e propriedades físicas. Entre estas podem ser enumeradas a sua fácil clivagem, que permite a separação em lâminas muito finas;

a flexibilidade; a baixa condutividade térmica e elétrica e ainda a resistência a mudanças abruptas de temperaturas. Tais características conferem a esse mineral múltiplas aplicações industriais. Os silicatos ocorrem na crosta terrestre com elevada abundância, acredita-se que cerca de 90% da crosta terrestre seja constituída de alguma forma por minerais da classe dos silicatos (Cavalcante *et al.*, 2005).

Os recursos de sucata e mica de flocos estão disponíveis em depósitos de argila, granito, pegmatita e de xisto, e são considerados mais do que adequados para atender à antecipada procura mundial num futuro previsível. Os recursos mundiais da folha de mica não foram formalmente avaliados por causa da ocorrência esporádica deste material. A rocha de mica é conhecida por existir em países como o Brasil, a Índia e Madagáscar. Recursos limitados da folha de mica estão disponíveis nos Estados Unidos. Os recursos domésticos deste país não são económicos por causa do alto custo de trabalho de mãos exigido para extrair e processar a folha de mica de pegmatites. A produção mundial de mica correspondeu a um total de 1 130 000 t, e os principais produtores foram os EUA, a Rússia e a China (Thomas, 2017).

A folha de mica é utilizada principalmente nas indústrias elétrica e eletrónica. A sua utilidade nestas aplicações é derivada às suas propriedades únicas elétricas e térmicas e às suas propriedades mecânicas, que permitem que seja cortado, perfurado, estampado e maquinado para certas tolerâncias (Dolley, 2008).

Alguns agregados leves, como diatomite, perlite e vermiculita, podem ser substituídos por mica moída quando usada como enchimento. A *fluorophlogopite* sintética de solo, uma mica rica em flúor, pode substituir a mica natural moída para utilizações que requerem propriedades térmicas e elétricas. Muitos materiais podem ser substituídos por mica em inúmeros usos elétricos, eletrónicos e de isolamento.

O pó de mica no local de trabalho é considerado uma substância perigosa por inalação acima de determinadas concentrações. A Administração da Segurança e Saúde do Trabalho (OSHA) definiu o limite legal como 20 mppcf (million particles per cubic foot) durante uma jornada de trabalho de 8 horas. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) estabeleceu um limite de exposição recomendado (REL) de exposição respiratória de 3 mg / m³ ao longo de uma jornada de trabalho de 8 horas. Aos níveis de 1.500 mg / m³, a mica é imediatamente perigosa para a vida e a saúde (CDC, 2015b).

Os substitutos incluem o acrílico, acetato de celulose, fibra de vidro, papel de peixe, nylon, fenólicos, policarbonato, poliéster, estireno, vinil-PVC e fibra vulcanizada. O papel de mica feito de mica reciclada (proveniente de sucata) pode ser substituído por mica de chapa em aplicações elétricas e de isolamento (Jasinski, 2018a).

- **Titânio (Ti)**

O titânio é um dos componentes mais comuns da crosta terrestre, o 9º em abundância. Ocorre naturalmente como ilmenita mas também como rutilo (dióxido de titânio). Uma vez que

o mineral ilmenite corresponde a titânio-óxido de ferro (FeTiO_3) este não foi abordado individualmente e foi incorporado na descrição do titânio (do ponto de vista comercial, o ilmenita é o minério mais importante do titânio (Sibum *et al.*, 2005). A ilmenite é a principal fonte de dióxido de titânio, que é utilizado em tintas, tecidos, plásticos, papel, protetores solares, alimentos e cosméticos (MRS, 2016).

O titânio não é tóxico mesmo em grandes porções e não desempenha qualquer papel natural no interior do corpo humano (Emsley, 2001) apesar de, como pó ou na forma de aparas de metal, o titânio metálico apresentar um risco de incêndio significativo e, quando aquecido no ar, um risco de explosão (Cotell *et al.*, 1994).

As ligas de titânio possuem alta resistência à tração (à razão de densidade) (Columbia Encyclopedia, 2011), alta resistência à corrosão (Lide, 2005), resistência à fadiga, alta resistência à fissura, (Moiseyev, 2006) e capacidade de suportar temperaturas moderadamente altas, usadas essencialmente em aeronaves, armaduras, navios, naves e mísseis. (Lide, 2005; Krebs, 2006). Para essas aplicações, o titânio é ligado com alumínio, zircónio, níquel, (Kramer, 2013) vanádio e outros elementos para a fabricação de uma variedade de componentes, incluindo peças estruturais críticas, paredes de fogo, trens de aterragem e escapes (helicópteros) e sistemas hidráulicos. Na verdade, cerca de dois terços de todos os titânios produzidos em metal são usados em motores e quadros de aeronaves (Emsley, 2001).

Poucos materiais possuem a relação força-peso e resistência à corrosão do metal de titânio. Em aplicações de alta resistência, o titânio compete com o alumínio, com compósitos, intermetálicos, com aço e superligas. O alumínio, o níquel, os aços especiais e as ligas de zircónio podem ser substituídos por titânio para aplicações que requerem resistência à corrosão. O carbonato de cálcio moído, o carbonato de cálcio precipitado, o caulim e o talco competem com o dióxido de titânio como um pigmento branco (Bedinger, 2018a).

- **Molibdénio**

O molibdénio não é encontrado naturalmente como um metal livre na Terra, mas em vários estados de oxidação em minerais. Forma prontamente ligas estáveis e duras com o carbono, e por esta razão a maior parte da produção mundial do elemento (aproximadamente 80%) é na fabricação do aço, incluindo ligas resistentes e superligas. O molibdénio é o 54º elemento mais abundante na crosta terrestre, e o 25º mais abundante nos oceanos, com uma concentração média de 10 partes por bilhão; é o 42º elemento mais abundante no Universo (Emsley, 2001; Considine, 2005).

A produção mundial de molibdénio foi de 290 000 t em 2017, sendo os maiores produtores os EUA, o Chile e a China (por ordem crescente) escreveu Polyak (2018a). A produção global de molibdénio em 2016 diminuiu 4% em comparação com 2015. O governo chinês tenciona lançar uma nova rodada de inspeções ambientais. Muitos produtores chineses serão provavelmente forçados a “fechar as suas portas” permanentemente ou a atualizar as suas instalações para cumprir com dificuldade os padrões ambientais (Polyak, 2017).

Os recursos identificados do molibdénio nos Estados Unidos são cerca de 5,4 milhões de toneladas. Os recursos mundiais estimam-se em 20 milhões de toneladas. Segundo informações da USGS são adequados para atender as necessidades mundiais num futuro previsível (Polyak, 2018a).

Devido à sua disponibilidade, versatilidade e capacidade do molibdénio de resistir a temperaturas extremas sem expandir significativamente ou amolecer permite-lhe ser útil em aplicações metalúrgicas tais como ligas, que envolvem calor intenso, incluindo a fabricação de blindagens, partes de aeronaves, componentes elétricos, motores industriais e filamentos, entre outros (Emsley, 2001; AZO Materials, 2001).

O molibdénio é um elemento químico essencial para a vida dos animais (Schwarz e Belaidi, 2013) O elemento também está presente dentro do esmalte dentário e pode ajudar a prever a sua queda (Curson *et al.*, 1971). A toxicidade aguda não foi observada em humanos e depende fortemente do estado químico do elemento mas estudos com animais têm demonstrado que a ingestão crónica de mais de 10 mg/dia causa problemas (Coughlan, 1983; Digitalfire, 2015a; Barceloux e Barceloux, 1999).

Polyak (2018a) adverte ainda que existe poucos substitutos deste material destinado à sua maior aplicação, em aços e ferros fundidos. A indústria procurou desenvolver novos materiais que beneficiem as suas propriedades de liga. Os potenciais substitutos incluem boro, cromo, nióbio e vanádio em aços de liga; tungsténio em aços de ferramenta; grafite, tântalo e tungsténio para materiais refratários em fornos elétricos de alta temperatura.

- **Perlite (70-75% SiO₂)**

A perlite forma-se em geral pela hidratação mineral de obsidiana²⁵ e de pedra-pomes em ambientes ricos em água subterrânea, originando um material amorfo. Não existem informações suficientes para fazer estimativas confiáveis de recursos em países produtores de perlite. Em 2016, segundo a USGS, a Turquia estava como o terceiro produtor mundial, a Grécia como segundo e a China liderava com 1 800 t. Nesse ano foram produzidas um total de 4 600 t deste elemento (Bennett, 2017). Em 2017, a produção mundial rondou as 5 100 t sendo que a China continua na liderança, assegurou Bennett (2018a).

As pessoas podem ser expostas à perlite no local de trabalho, através da inalação de poeiras, contato com a pele e contato com os olhos. A Administração da Segurança e Saúde no Trabalho (OSHA) estabeleceu o limite legal (limite de exposição permitido) para exposição perlita no local de trabalho como 15 mg / exposição total m³ e exposição respiratória de 5 mg / m³ ao longo de uma jornada de trabalho de 8 horas. O Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) estabeleceu um limite de exposição recomendado (REL) de

²⁵ Obsidiana é uma rocha ígnea extrusiva constituída quase integralmente por um tipo de vidro vulcânico.

exposição total de 10 mg / m³ e exposição respiratória de 5 mg / m³ durante uma jornada de trabalho de 8 horas.

Devido à sua baixa densidade, resistência e preço relativamente reduzido, tem aparecido em número crescente de aplicações comerciais. A perlite expandida é muito utilizada na construção civil (Bolen, 2011) e para fins industriais e de biotecnologia. É um material leve, à prova de fogo (Schundler Company, 2013). Devido à sua estabilidade térmica e mecânica, ausência de toxicidade e alta resistência contra ataques microbianos e solventes orgânicos, a perlite é amplamente utilizada em aplicações biotecnológicas. A perlite é considerada um excelente suporte para a imobilização de enzimas biocatalisadores usadas em aplicações de bio remediação e de deteção de compostos orgânicos (Torabi *et al.* 2007).

Em aplicações de construção, a diatomite, a argila expandida e xisto, pedra-pomes e escória podem ser substituídos por perlite. Para usos hortícolas, a vermiculita, a polpa de madeira e pedra-pomes são aditivos de solo alternativos e às vezes são usados em conjunto com a perlite (Bennett, 2018a).

- **Rutilo (TiO₂)**

O rutilo é um mineral composto de dióxido de titânio (o titânio encontra-se posicionado no 9º lugar, no ranking de abundância entre 78 materiais). O rutilo não está contemplado neste ranking. Os países que produzem este mineral são a Rússia, a Índia e alguns países da América do Sul. Além disso, a Antártida contém alguns depósitos.

A toxicidade com este material tem a ver com o facto de ser um pó incómodo. É inerte, praticamente não tóxico e quimicamente não irritante, não sendo absorvido pelo corpo (Digitalfire, 2015).

As suas aplicações são muito importantes na indústria, uma vez que é a base do titânio metálico e o pigmento do óxido de titânio amorfo (IV), o pigmento branco mais importante do mundo. Também é aplicado na tecnologia a laser para criar lasers de titânio-safira. O iodeto de titânio (IV) é um dos melhores catalisadores de polímeros de ligações etéreas. Também é utilizado na soldadura para a preparação de eléctrodos com material geralmente de aço carbono, como revestimento e proteção do referido material de base.

As principais aplicações para o rutilo são a fabricação de cerâmica refratária, como pigmentos e na produção de titânio metálico (a principal aplicação do titânio a nível mundial, ainda que não seja economicamente viável a produção de titânio metal a partir do rutilo). Este mineral é utilizado em pó em tintas, plásticos, papel, alimentos e outras aplicações que requerem uma cor branca brilhante. As nanopartículas de rutilo altamente refletoras de luz ultravioleta e transparentes são por isso utilizadas no fabrico de protetores solares.

- **Talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$)**

O talco ocorre em rochas ultrabásicas metamorfizadas. É o constituinte principal de depósitos de uma rocha com relativa importância económica designada por pedra de sabão.

Os Estados Unidos são auto suficientes na maioria dos graus de talco e minerais relacionados. Os recursos domésticos e mundiais são estimados em aproximadamente cinco vezes a quantidade de reservas.

Pode ser utilizado como isolamento térmico e isolamento elétrico, em artigos de cerâmica, como pó de talco, lubrificante, base para tintas, papel, borrachas, plásticos, entre outros. Os anteriores moldes de peças de loiça e sanitários e a tecnologia para a queima de azulejos de cerâmica mudaram, reduzindo a quantidade de talco necessária para o fabrico de alguns produtos cerâmicos. Relativamente à pintura, a indústria mudou o seu foco de produção para apostar em tintas à base de água, ao invés das anteriores à base de petróleo (com o intuito de reduzir as emissões voláteis), reduzindo a procura deste material, quando antes este era necessário. Em contrapartida, as vendas de talco doméstico para plásticos aumentaram numa estimativa de 85% de 1995 a 2016, principalmente o resultado do aumento do uso em plásticos aplicados na indústria automóvel (Flanagan, 2017b). A indústria de papel tem sido tradicionalmente o maior consumidor de talco em todo o mundo, embora os plásticos sejam a classe de material que se espera que ultrapasse o papel como o uso final predominante nos próximos anos, conforme os fabricantes de papel asiáticos fazem maior uso de substitutos do talco e o uso deste material aumenta em plásticos para aplicações automóveis. A produção deste material atingiu em 2016 as 8 400 t (Flanagan, 2017).

Este produto é absorvido pelo trato respiratório. Com base na falta de dados de estudos humanos e em dados limitados em estudos de animais de laboratório, o IARC (International Agency for Research on Cancer) classifica o talco inalado que não contém amianto como "não classificável quanto aos riscos de cancro em seres humanos" (American Cancer Society, 2017).

Os substitutos para talco incluem feldspato, e pirofilita²⁶ em cerâmica; caulino e mica em tintas; carbonato de cálcio e caulim em papel; mica e wollastonite em plásticos; caulim e mica em borracha.

- **Terras raras**

Conforme definido pela IUPAC, (International Union of Pure and Applied Chemistry) as terras raras são um conjunto de dezassete elementos químicos na tabela periódica (REE - Rare Earth Elements), especificamente os quinze lantanídeos, bem como o escândalo e o ítrio (Connelly *et.al*, 2005). O escândio e o ítrio são considerados elementos das terras raras porque tendem a aparecer nos mesmos depósitos de minério que os lantanídeos exibindo propriedades químicas semelhantes. Os elementos são o cério (Ce), disprósio (Dy), érbio (Er), európio (Eu), gadolínio (Gd), hólmio (Ho), lantânio (La), lutécio (Lu), neodímio (Nd) praseodímio (Pr),

²⁶ Pirofilita é um silicato de alumina hidratada ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

promécio (Pm), samário (Sm), escândio (Sc), térbio (Tb), túlio (Tm), itérbio (Yb) e ítrio (Y). Apesar do nome que lhes foi atribuído, os elementos das terras raras – com exceção do promethium radioativo – são relativamente abundantes na crosta terrestre, sendo que o cério o 27º elemento mais abundante em 68 ppm, tão abundante quanto por exemplo, o cobre em oposição ao luténio que se encontra na 61ª posição (em 78 elementos contabilizados). Estes elementos não são especialmente raros, mas tendem a ocorrer juntos na natureza sendo difíceis de separar, um dos outros assim como as concentrações mínimas são menos comuns do que para a maioria dos outros minérios. Devido às suas propriedades geoquímicas, os elementos das terras raras são tipicamente dispersos. São raramente encontrados em depósitos de minério economicamente exploráveis.

As diversas utilizações nos campos metalúrgicos, nucleares, químicos, catalíticos, magnéticos, elétricos e propriedades óticas das terras raras conduzem a uma variedade cada vez maior de aplicações. As finalidades variam entre utilizações mundanas como polimento de vidro à denominada alta tecnologia. Só entre 1999 e o ano 2000, mais de 90% das terras raras exigida pela indústria norte americana proveio de depósitos na China.

Os elementos de terras raras são tão importantes nas indústrias da eletrónica, das comunicações e da defesa que o U.S. Department of Energy - USDE os apelidou de "metais tecnológicos" (Rohrig, 2015). Muitas das suas aplicações são caracterizadas por alta especificidade e alto valor unitário.

O cério é colocado num solvente que os trabalhadores usam para polir dispositivos à medida que se movem ao longo da linha de montagem. É também utilizado em conversores catalíticos de automóveis, permitindo que eles funcionem a altas temperaturas e desempenha um papel crucial nas reações químicas no conversor.

O lantânio é aplicado em câmaras e lentes de telescópio. Os compostos que contêm lantânio são amplamente utilizados em aplicações de iluminação de carbono, como iluminação de estúdio e projeção de cinema.

O neodímio é vital para ímãs permanentes de alto desempenho. Utiliza-se em altifalantes e discos rígidos do computador, para que eles sejam menores, de maior qualidade e mais eficientes. Os ímãs contendo neodímio também são usados em tecnologias verdes, como a fabricação de turbinas eólicas e carros híbridos.

O praseodímio é usado para criar metais fortes para motores de aeronaves, e também é um componente de um tipo especial de vidro, usado para fazer visores para proteger soldadores e fabricantes de vidro.

O gadolínio é usado em sistemas de leitura de raios-X, ressonância magnética assim como em ecrãs de televisão.

O európio é um fósforo que cria um vermelho brilhante no ecrã do *iPhone*. Também é usado na fabricação de barras de controlo em reatores nucleares. Assim como em tubos de raios

catódicos de televisões a cores e ecrãs de cristal líquido para TV e computador da última geração que empregam o európio, não sendo conhecido substituto (Haxel *et al.*, 2002).

O ítrio é uma matéria-prima promissora para supercondutores e tecnologia laser.

O ítrio, o térbio e o európio são importantes na fabricação de televisores, ecrã de computador e outros dispositivos com exibições visuais, pois são usados na fabricação de materiais que produzem cores diferentes (Minerals. Uk, 2012).

Os metais de terras raras não são utilizados apenas em *smartphones*, mas em muitos outros dispositivos de alta tecnologia, como descrito anteriormente. Dentro das rochas de uma mina em Mountain Pass (Califórnia, EUA) explorada pela Molycorp encontram-se os minerais de terras raras, ingredientes cruciais para *iPhones*, bem como para turbinas eólicas, carros híbridos, óculos de visão noturna, em televisores, computadores, passando por visões futuristas como lasers, mísseis, lentes de câmaras, lâmpadas fluorescentes, baterias, refrigeração magnética, conversores catalíticos. As suas propriedades físicas e químicas únicas fazem-nos indispensáveis para um número crescente de tecnologias críticas. As aplicações tecnológicas têm vindo a multiplicar-se nas últimas décadas aumentando a procura drasticamente. "*O seu iPhone não funciona sem terras raras*", afirmou Mark Smith, presidente-executivo da Molycorp. O que é exclusivo sobre a Molycorp é que está a tentar extrair minerais de terras raras de forma ambientalmente amigável. A empresa apresentou um método coerente face à recolha caótica e tóxica que define grande parte da mineração mundial de terras raras. E se os executivos da Molycorp estiverem corretos, podem servir de modelo e forçar os competidores chineses a melhorar a sua maneira de operar (Greene, 2012a). O centro da mineração chinês das terras raras é em Baotou, uma cidade na Mongólia Interior, com cerca de 2,3 milhões de habitantes, que se tornou "cartaz" dos destroços ecológicos da mineração.

Contudo a reciclagem também gera controvérsia. Na China, a Apple vendeu mais de 20 milhões de *iPhones* no ano passado, de acordo com estimativas do analista A.M. de Sanford C. Bernstein & Co. (Toni) Sacconaghi Jr. Os consumidores asiáticos procuram as lojas ou compram *online* sempre que chega o momento de adquirir o último modelo, assim como todos os outros consumidores nas mais diversas partes do mundo. Para onde vai o telemóvel antigo ainda é um grande mistério! (Greene, 2012b).

Os metais das terras raras são mal absorvidos pela pele, pelo trato gastrointestinal e são lentamente absorvidos pelos pulmões ou por injeção, contudo podem aglomerar-se no fígado e no esqueleto (podendo demorar anos a remover). A ingestão accidental é considerada inofensiva. O contato com a pele deve ser evitado, especialmente com as terras raras dos grupos térbio e itérbio. As terras raras aquecidas emitem vapores tóxicos que devem ser controlados (Digitalfire, 2017b). A cidade de Baotou, na Mongólia Interior, é considerada uma fonte chinesa desses elementos estratégicos, essenciais à tecnologia avançada (e.g. desde *smartphones* a receptores de GPS, mas também para parques eólicos e, acima de tudo, carros elétricos). Os minerais são extraídos em Bayan Obo, 120 km mais ao norte, depois levados a Baotou para serem processados. Num lote de 10 km², as fábricas em redor descarregam água

carregada com produtos químicos utilizados para processar os 17 minerais. A concentração de terras raras no minério é muito baixa, por isso devem ser separadas e purificadas, utilizando técnicas hidro-metalúrgicas e banhos ácidos, infestando o ar com vapores de solventes, particularmente ácido sulfúrico e poeira de carvão. Em apenas 10 anos, a população decaiu de 2 000 para 300 indivíduos. À data, a China representou 97% da produção global destas substâncias preciosas: dois terços eram produzidos em Baotou (Bontron, 2012). Recentemente, uma diminuição nas exportações de elementos das terras raras pela China resultou numa variedade de ruturas tecnológicas. (Alonso, *et al.*, 2012; Hanson, 2011). Os substitutos estão disponíveis para muitas aplicações, mas geralmente são menos eficazes afirmou Gambogi (2018a). Segundo Graedel *et al.* (2015) os elementos das terras raras formam um padrão de risco médio de oferta, mas de implicações ambientais cada vez maiores.

- **Vermiculita**

A vermiculita $(\text{MgFe,Al})_3(\text{Al,Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ é um mineral formado por hidratação de certos minerais basálticos, sofrendo expansão quando lhe é aplicado calor e é utilizada comercialmente, principalmente em sua forma expandida na construção civil e na agricultura.

A vermiculita é um mineral semelhante à mica, formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio.

Do total produzido mundialmente no ano de 2016 (405 t), 70t são do Brasil, 100t dos EUA e 170t da África do Sul. As reservas dos EUA representam 25 000t, mas os dados dos restantes países são escassos ou inexistentes. Existem reservas reportadas na Austrália, na China, na Rússia, em Uganda e noutros países, no entanto na maioria dos casos, não é claro se os números se referem somente a vermiculita ou a outras rochas (Tanner, 2017b). As ocorrências de vermiculita no Colorado, Nevada, Carolina do Norte, Texas e Wyoming contêm recursos estimados de 2 a 3 milhões de toneladas. Foram identificados depósitos na Austrália, China, Rússia, Uganda e alguns outros países (apesar dos números estarem sujeitos a dúvidas quanto ao elemento isolado ou junto com outros minerais), afirmou Tanner (2018c).

Embora nem todos os vermiculitos conttenham amianto, alguns produtos foram fabricados com este último componente até ao início dos anos 90 (EPA, 2017). As poeiras podem causar irritação nos olhos, pele, mucosas e trato respiratório, contudo o produto é bastante inerte e não se espera que apresente um risco para o meio ambiente (Schundler, 2017).

Tanner (2018c) referiu ainda que a perlite expandida é um substituto para o betão e o emplastro leve da vermiculita esfoliada. Outros substitutos mais densos mas menos onerosos nessas aplicações são a argila, o xisto, a escória e ardósia expandidas. Materiais alternativos destinados ao isolamento, à prova de fogo de preenchimento solto, incluem fibra de vidro, perlite e lâ de escória. Na agricultura, os substitutos incluem a casca e outros materiais vegetais, turfa, perlite, entre outros.

- **Wollastonita (CaSiO₃)**

A wollastonita é um mineral inosilicato de cálcio que pode conter pequenas quantidades de ferro, magnésio e manganês.

Não existem estimativas confiáveis de recursos de wollastonita na maioria dos países. Grandes depósitos de wollastonita foram identificados na China, Finlândia, Índia, México e Estados Unidos. Pequenos depósitos, mas significativos, foram assinalados no Canadá, Chile, Quênia, Namíbia, África do Sul, Espanha, Sudão, Tajiquistão, Turquia e Uzbequistão. O grande produtor é a China com 425 Mt contra as 285 Mt do resto do mundo (Flanagan, 2017).

O USGS (Flanagan, 2017c) não recolhe estatísticas de consumo deste material, no entanto estimou que este diminuiu em 2016 em relação ao ano anterior. Mercados de plásticos e borracha (termoplástico e termoendurecido resinas e compostos de elastómeros) foram estimados em mais de 25% de wollastonite só em vendas nos EUA, seguidos de cerâmica (sanitários e azulejos), tintas, aplicações metalúrgicas, produtos de fricção (principalmente forros de freio) e diversas utilizações (incluindo adesivos, betão, vidro e vedantes).

Algumas das propriedades que tornam a wollastonite tão útil são o seu alto brilho, brancura e a baixa absorção de humidade. A wollastonita é utilizada principalmente em cerâmicas, produtos de fricção (freios e garras), fabricação de produtos em metal, enchimento de tinta e plásticos.

Os dados preliminares de bioensaio animal e mortalidade humana foram inadequados (termo IARC) ou negativos e nenhum novo estudo desses tipos foi publicado. A wollastonita foi determinada a ter baixa bio persistência em estudos *in vivo* e *in vitro*, o que provavelmente explica a sua relativa falta de toxicidade (Maxim *et al.*, 2014).

A natureza aguçada de muitos produtos de wollastonita permite competir com outros materiais aciculares, como fibra de cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço e várias fibras orgânicas, como aramida, polietileno, polipropileno, e politetrafluoroetileno, em produtos onde são procuradas melhorias na estabilidade dimensional, módulo de flexão e deflexão do calor. A wollastonita também compete com vários minerais ou rochas não fibrosas, como o caulim, a mica e talco, que são adicionados aos plásticos para aumentar a resistência à flexão e minerais como barita, carbonato de cálcio, gesso e talco, que conferem estabilidade dimensional aos plásticos. Na cerâmica, a wollastonita compete com carbonatos, feldspatos, limas e sílica como fonte de cálcio e sílica. O seu uso na cerâmica depende da formulação do corpo cerâmico e do método de queima.

- **Zircónio**

É um metal duro, resistente à corrosão, utilizado principalmente no revestimento de reatores nucleares. Utiliza-se como aditivo em aços obtendo-se materiais muito resistentes. O zircónio (⁴⁰Zr) não é encontrado na natureza como metal nativo, porém forma numerosos minerais, refletindo a sua instabilidade intrínseca em relação à água. Tem uma concentração

de cerca de 130 mg/kg dentro da crosta terrestre e cerca de 0,026 µg/L na água do mar (Peterson e MacDonell, 2007). O zircónio é extremamente resistente ao calor e à corrosão.

A principal fonte comercial de zircónio é o zircão (ZrSiO₄), um mineral de silicato, que é encontrado principalmente na Austrália, Brasil, Índia, Rússia, África do Sul e Estados Unidos, bem como em depósitos menores em todo o mundo (Madehow, 2007).

Em 2016, a produção mundial de minas de zircónio atingiu as 1,460 Mt, com a China a ocupar o 3º lugar, a África do Sul em 2º e em 1º lugar a Austrália. No entanto, as reservas mundiais deste material alcançam as 75 000 t, (Bedinger, 2017b). Os recursos nos Estados Unidos incluíram cerca de 14 milhões de toneladas de zircão associado com recursos de titânio em depósitos de areia mineral. Os fluxos de fosfato, areia e cascalho poderiam potencialmente produzir quantidades substanciais de zircão como um subproduto (Bedinger, 2017b).

Devido à excelente resistência à corrosão do zircónio, é utilizado muitas vezes como agente de liga em materiais expostos a ambientes agressivos, como aparelhos cirúrgicos, filamentos de luz e em relógios. A alta reatividade do zircónio com o oxigénio a altas temperaturas é explorada em algumas aplicações especializadas, como explosivos e absorventes em tubos de vácuo. Os materiais fabricados a partir de metal de zircónio e ZrO₂ são utilizados em veículos espaciais onde a resistência ao calor é necessária (Stwertka, 1996).

As peças de alta temperatura, como combustores, lâminas e palhetas em motores a jato e turbinas a gás estacionárias, estão cada vez mais protegidas por camadas de cerâmica fina, geralmente compostas por uma mistura de zircónio e de ítrio (Meier e Gupta, 1994).

O zircónio e seus sais geralmente apresentam baixa toxicidade (Digitalfire, 2017c). A ingestão dietética estimada é de cerca de 50 microgramas. A maioria passa pelo intestino sem ser absorvida, tendendo a acumular um pouco mais no esqueleto do que nos tecidos. O zircógranadano 95 é um dos radionuclídeos envolvidos no teste atmosférico de armas nucleares. É um dos radionuclídeos de longa vida que produziram e continuarão a produzir risco aumentado de cancro durante séculos (Lenntech, 2018).

A chromite e olivina podem ser utilizadas em vez do zircão para algumas aplicações de fundição. Os refratários de dolomita e espinela também podem substituir zircões em certas aplicações de alta temperatura. O nióbio, o aço inoxidável e o tântalo fornecem substituição limitada em aplicações nucleares, e materiais de titânio e sintéticos podem substituir em algumas aplicações de processamento químico. O zircónio pode ser usado de forma intercambiável com háfnio em certas superligas.

3.2.5. Rochas & Pedras

- **Pedras e gravilha**

Não são avaliadas neste item, uma vez que não são especialmente relevantes para este estudo.

- **Bauxite**

A bauxite, um minério de alumínio, é a principal fonte deste material do mundo. Embora a procura de alumínio esteja a aumentar rapidamente, as reservas conhecidas de bauxite são suficientes para atender às necessidades mundiais de alumínio por alguns séculos.

Os três maiores produtores de bauxite, no ano de 2016 segundo dados da USGS (Bray, 2017b), foram por ordem crescente a Malásia, a China e a Austrália, entre tantos outros países o que perfaz um total de 262 000 t de bauxite minerada.

Segundo dados da USGS (2017) as reservas mundiais perfazem 28 000 000 Mt (de bauxite/alumina, referentes ao ano de 2016 (Bray, 2017b).

Os recursos globais de bauxite estão estimados entre 55 a 75 mil milhões de toneladas e são suficientes para atender à procura mundial deste material no futuro esclarece Bray, (2018a), mais concretamente em África (32%), Oceânia (23%), América do Sul e Caribe (21%), Ásia (18%) e outros lugares (6%). O aumento da reciclagem de alumínio, que tem a vantagem de reduzir o custo de energia elétrica na produção deste material, vai preservar consideravelmente as reservas mundiais de bauxite. Quase 90% da sucata de alumínio dos automóveis - mais de meio milhão de toneladas por ano - é recuperada e reciclada ou por outras palavras a reciclagem de 1 tonelada de alumínio economiza energia equivalente a 21 barris de óleo (Aluminium Association, 2018).

No processo de identificação dos impactos ambientais tem que se levar em conta que todos os trabalhos que envolvem mineração têm relação direta com escavações e movimentação de terras. Resultantes dessas atividades estão o desflorestamento, a mudança da superfície topográfica da paisagem, a destruição ou deterioração das camadas superficiais do solo, a instabilização de encostas e terrenos em geral, a erosão e o assoreamento (Bray, 2012). A maioria da bauxite está muito próxima da superfície sendo facilmente extraída em relação a outros minérios. No entanto, existem vários perigos físicos, químicos, biológicos, ergonómicos e psicossociais ao longo do processo de mineração (Donoghue, *et al.*, 2014; Wesdock e Arnold, 2014).

Os riscos químicos são reduzidos, porque a bauxite é geralmente considerada como biologicamente inerte. Está categorizado como um pó incómodo ou uma partícula não especificada. Foram realizados alguns estudos sobre este material envolvido com o setor de mineração, no entanto, estes não foram associados a impactos adversos para a saúde.

A bauxite é a única matéria-prima utilizada na produção de alumina (alumina ou óxido de alumínio é o principal componente da bauxita, o principal minério de alumínio). Embora atualmente não seja um processo economicamente competitivo, os vastos recursos de argila são fontes tecnicamente viáveis de alumina. O carboneto de silício e a alumina-zircónica podem substituir os abrasivos à base de bauxita, mas têm custos mais elevados (Bray, 2018).

- **Diamantes (industriais)**

O diamante industrial é qualquer diamante designado para uso industrial, utilizado principalmente como ferramenta de corte ou abrasivo. Em geral, os diamantes industriais possuem formas irregulares, sem grande valor. São como gemas defeituosas e incolores, longe da imagem idílica dos diamantes como jóias preciosas. Todavia são de vital importância nas modernas indústrias de metalurgia e mineração. As suas utilizações decorrem do facto de este material possuir como característica principal a dureza, destronado apenas pelo Q-carbono (Brumfield, 2015).

Os diamantes industriais podem ser extraídos de depósitos naturais, ou podem ser produzidos sinteticamente. Entre os diamantes que ocorrem naturalmente, existem três variedades: *ballas*, *bort* e carbonado. Os dois primeiros são compostos por massas esféricas dispostas concetricamente em cristais de diamante minúsculos. O *ballas* é extremamente difícil de se separar. O Brasil e a África do Sul são os locais de eleição para esta variedade. Bort é um diamante maciço (de tons cinzento/preto, causada por inclusões e impurezas). Os maiores depósitos situam-se no Congo (Kinshasa). É utilizado na fabricação de trituradoras para afiar ferramentas de corte de metal com carboneto cimentado e em grãos para lapidar e polir. A terceira variedade, o Carbonado, conhecido no comércio como carbono, é um diamante preto opaco. É tão duro quanto o diamante cristalizado mas menos quebradiço. É bastante utilizado para uso em ferramentas de diamante. Ocorre em pequenas concentrações nos cascalhos de diamantes da Bahia, Brasil e em Bornéu, mas também é encontrado na República Centro-Africana e na Sibéria (Encyclopedia Britannica, 2018b).

Existem pelo menos 15 países que já possuem tecnologia para a fabricação de diamante sintético. Em 2017, a China foi o principal produtor mundial de diamantes industriais sintéticos, com produção anual superior a 4 mil milhões de quilates. É provável que os Estados Unidos continuem a ser um dos principais mercados mundiais de diamantes industriais na próxima década assim como um importante produtor e exportador de diamante industrial sintético afirmou Olson (2018). Depósitos de diamantes naturais foram descobertos em mais de 35 países. O diamante natural representa cerca de 1% de todo o diamante industrial utilizado referiu a USGS.

Os perfuradores de rocha, amplamente utilizados na exploração de novos depósitos minerais, são constituídos por diamante. Outras aplicações importantes incluem serras para corte de rocha e outros materiais duros, tornos e outros tipos de ferramentas de corte, cortadores de vidro, agulhas de fonógrafo, testadores de dureza e matrizes de trefilagem.

No início do século XXI, o Congo (Kinshasa) e a Rússia lideraram o mundo na produção industrial de diamantes. Outros grandes produtores de diamantes industriais incluem a Austrália e o Botswana (Encyclopedia Britannica, 2018b).

Segundo a USGS (Olson, 2018c), alguns materiais que podem competir com diamantes industriais em algumas aplicações incluem abrasivos fabricados, como óxido de alumínio

fundido e carboneto de silício. Ao invés do diamante natural, o diamante sintético é utilizado em cerca de 99% das aplicações industriais.

- **Diatomite**

A diatomite é uma rocha sedimentar de cor clara que é composta principalmente dos restos esqueletais siliciosos de diatomáceas²⁷. É uma rocha muito porosa de partícula fino e uma baixa gravidade. Essas propriedades tornam-na útil como um meio de filtro, um absorvente e como um enchimento leve para borracha, tinta e plásticos. Quando a diatomite é esmagada em pó, geralmente é denominada de "Terra de diatomácea", ou D.E (King, 2018). O custo da diatomite depende da sua qualidade, da forma como será utilizada e do esforço de preparação que foi investido pelo fornecedor. A diatomite que surge no mercado direto da mina sem qualquer processamento é utilizada em betão.

Em 2017, a produção de diatomite foi estimada em 700 mil toneladas. A diatomite é utilizada na filtração, 50%; em agregados leves, 30%; em enchimentos, 15%; absorventes em menos de 1%, noutras aplicações, incluindo usos farmacêuticos e biomédicos especializados. O valor unitário da diatomite variou amplamente em 2017, sendo que é usada como agregado leve em cimento *portland* em mercados de especialidades limitadas, incluindo materiais de arte e cosméticos, afirmou Crangle (2017c).

As aplicações principais diatomite (EUA) surgem nos sistemas filtrantes (56%), como aditivo de cimento (15%), enchimentos (14%), absorventes (13%) e outros (2%) (King, 2018). Este material é também utilizado como abrasivo suave em algumas pastas dentífricas, em cremes de esfoliação facial e esmaltes metálicos. As suas partículas de sílica são pequenas, friáveis, têm uma área de superfície alta e são de forma angular. Estas são propriedades que a ajudam a funcionar bem como um abrasivo suave. É também utilizada como aditivo no controlo de pragas.

Segundo a USGS, as reservas são adequadas às necessidades mundiais.

A diatomite pode ser substituída por muitos materiais no entanto, as suas propriedades únicas asseguram o seu uso contínuo em muitas aplicações. A perlita expandida e areia de sílica competem por filtração. Os filtros feitos de materiais manufaturados, nomeadamente filtros de membrana cerâmicos, poliméricos ou de carbono e filtros feitos com fibras de celulose, já entraram em competição. Materiais de enchimento alternativos incluem argila, calcário moído, mica moída, areia de sílica moída, perlita, talco e vermiculita. Os custos de transporte podem vir a ser decisivos para a expansão deste material mas por enquanto ainda concorre com materiais alternativos.

- **Granada (Industrial)**

Esta pedra pertence a um grupo de minerais de silicatos que são utilizados desde a Idade do Bronze como pedras preciosas (os cristais puros) e abrasivos. Todas as espécies de

²⁷ Diatomáceas são organismos unicelulares que chegam a atingir 2 milímetros. A maioria deles vive em mares de águas frias, no entanto existem espécies de água doce.

granadas possuem propriedades físicas e formas cristalinas semelhantes, mas diferem na composição química. As diferentes espécies são a *pyrope*, *almandine*, *spessartine*, *grossular* (variedades de *hessonite* ou *canela* e *tsavorite*), *uvarovite* e *andradite*. As variedades de gemas ocorrem em tons de verde, vermelho, amarelo e marrom, verde, preto e incolor. As principais descobertas de depósitos na década de 1970 e 1980 resultaram na popularidade crescente deste mineral, (Geo.Utexas, 1998).

Os recursos mundiais da granada são vastos e ocorrem numa grande variedade de rochas, particularmente por gneiss²⁸ e xistos. A granada também ocorre em depósitos metamórficos, em calcários cristalinos, pegmatites, serpentinitas e depósitos de veias. Além disso, a granada aluvial (extraída em rios/cursos de água doce) está presente em muitos depósitos de areia e cascalho em todo o mundo. Existem grandes recursos de granada nos EUA perto de North Creek, NY, entre outros (Idaho, Maine, Montana, New Hampshire, Carolina do Norte e Oregon). Existem grandes depósitos deste material na Austrália, Canadá, China e Índia, onde são extraídos para mercados estrangeiros e domésticos; depósitos na Rússia e na Turquia também foram extraídos em nos últimos anos, principalmente para os mercados internos. Recursos adicionais de granada encontram-se no Chile, República Checa, Paquistão, África do Sul, Espanha, Tailândia e Ucrânia; Pequenas operações de mineração foram relatadas na maioria desses países (Thomas, 2017).

É considerada uma pedra algo tóxica ou nociva por conter alumínio, no entanto, não há efeitos conhecidos sobre a saúde nos trabalhadores decorrentes da exposição a longo prazo a esta substância. A exposição a poeiras incómodas criadas pelo manuseamento pode causar irritação ocular (Mergell, 2018; Graystar 2006).

Outros abrasivos naturais ou fabricados podem substituir até certo ponto os principais usos finais de granada. Todavia, em muitos casos utilizar os substitutos implicaria sacrifícios de qualidade ou custo. Óxido de alumínio fundido e estauroilite²⁹ competem com a granada como material de jateamento. Ilmenita, magnetita e plástico competem para determinadas aplicações. O corindo³⁰, o diamante e o óxido de alumínio fundido competem pela moagem das lentes e por muitas operações de lapidação (Singerling, 2018c). O vidro, os plásticos e outros materiais são substitutos das pedras naturais. As pedras preciosas sintéticas (materiais fabricados com as mesmas propriedades químicas e físicas que as pedras preciosas) são substitutas comuns (Olson, 2018a).

²⁸ Gneiss é uma rocha metamórfica, composta geralmente por camadas que diferem de cor e composição, algumas sendo ricas em feldspato e quartzo, outras ricas em hornblende (um mineral escuro, preto ou verde), ou mica.

²⁹ Estauroilite é um mineral de cor vermelha a castanha, geralmente opaco. Tem dureza entre 6 a 7.5 (na escala de Mohs 1-10).

³⁰ Corindo ou Corundum é um mineral a base de óxido de alumínio, que representa valor 9 em dureza, na escala de Mohs.

- **Pedra pomes**

Pedra-pomes ou púmice é uma rocha vulcânica, É formada quando a lava super-aquecida e altamente pressurizada é violentamente ejetada de um vulcão. Possui baixa densidade, leveza e tem uma aparência esponjosa, uma textura abrasiva e superfície áspera.

Os recursos americanos identificados de pedra-pomes e pumicite estão estimados em mais de 25 milhões de toneladas. Os recursos totais estimados (identificados e não descobertos) podem totalizar mais de 1 bilhão de toneladas. Grandes recursos de pedra-pomes e pumicite foram identificados em todos os continentes (Crangle, 2018d).

A pedra-pomes é aplicada em construção civil como material de aterro ou de preenchimento e como aditivo em betões, produzindo um cimento leve e plástico, muito utilizado em rebocos e revestimentos. A pedra-pomes é também utilizada como abrasivo em cosméticos para aumentar o poder de limpeza de sabões e detergentes e como material base de produtos esfoliantes da pele.

Não sendo classificado como um material perigoso, este produto pode ser usado no entanto todas as aplicações têm de ser coerentes com as diretrizes gerais de segurança. Não se conhecem outros efeitos adversos relevantes.

- **Pedras preciosas**

O valor combinado da produção de pedras preciosas naturais e sintéticas nos EUA em 2017 foi estimado em US \$ 71 milhões, um aumento de 6% comparado com o da produção de gemas em 2016, incluindo a ágata, o berilo, o coral, o diamante, a granada, a jade, a jaspe, a opala, a pérola, o quartzo, a safira, a concha, o topázio, a turmalina, a turquesa e muitos outros materiais preciosos.

A maior produção de pedra foi o resultado de uma nova empresa de fabricação de diamantes sintéticos na Califórnia, atingindo a produção em grande escala. Outra empresa de fabricação de diamantes sintéticos da Carolina do Sul adicionou novos equipamentos de fabricação que aumentaram a sua capacidade a partir de 2016. Por outro lado espera-se que uma empresa com sede no Canadá continue a mineração de pedras naturais no litoral da Namíbia em 2018. A O Ministério das Minas e Energia da Namíbia renovou a licença por um período de 10 anos. A produção de diamantes marinhos excedeu a mineração de diamantes. Em 2016, a Namíbia produziu 1,72 milhões de quilates, dos quais apenas 403 mil quilates foram produzidos em terra.

As principais aplicações de pedras preciosas foram para esculturas, gemas, coleções minerais e jóias.

O vidro, plástico e outros materiais são substitutos de pedras/gemas naturais. As pedras preciosas sintéticas (materiais fabricados que possuem as mesmas propriedades químicas e físicas que as pedras preciosas) são substituições comuns. Materiais que aparentam ser gemas,

mas que diferem em características químicas e físicas) também são frequentemente substitutos das pedras preciosas naturais.

3.2.6. Outros grupos de materiais

3.2.6.1. Celulose e Derivados

O papel é definido como sendo um produto bidimensional produzido a partir de uma suspensão aquosa de fibras entrelaçadas artificialmente, as quais são posteriormente “pressionadas” na forma de folhas, através de processos mecânicos e térmicos (Klock et al. 2013).

Antes da produção de papel e da industrialização deste setor tal como hoje o conhecemos, a origem das fibras mais comuns, (para além de outras formas naturais como a utilização de tábuas em pedra e madeira; argila, folhas e casca de árvore - pergaminho, papiro - ou peles de animais) eram provenientes de fibras recicladas ou seja do uso de têxteis, vulgarmente conhecidos como trapos (de cânhamo, linho e algodão). No terceiro século A.C., os chineses³¹ faziam registos em tecidos de seda pura, mas este material não possuía as características necessárias tais como a absorção de água e a fibrilação. Aperfeiçoadas pelos chineses, as técnicas de fabrico de papel passaram por um processo a partir de casca de árvore e trapos, que deu início ao ciclo do produto que identificamos e reconhecemos como os primórdios do papel atual (pasta de papel). Os primeiros registos de produção de papel na Europa datam dos séculos X e XI na cidade de Valência (sul da Espanha) (Klock et al., 2013). Já na Europa as primeiras máquinas de papel verdadeiramente eficientes surgiram no século XVIII. Em 1798, surgiu a invenção de uma máquina de contínua de tela plana, pelo francês Nicolas Louis Robert, que cedeu a patente aos irmãos Fourdrinier (Klock et al., 2013). As primeiras tentativas de produção de papel sem trapos, utilizando matéria-prima vegetal surgiram entre 1765-1771. A invenção da pasta mecânica de madeira (em 1840) pelo alemão Keller e da pasta química deram início à indústria papeleira atual.

A produção e a utilização de papel tem uma série de efeitos adversos sobre o meio ambiente. O branqueamento clássico ou convencional de polpa de madeira com cloro elementar produz e liberta para o meio ambiente grandes quantidades de compostos orgânicos clorados, incluindo dioxinas cloradas (ASAE, 2018). Mais concretamente, consiste em vários estágios aplicando cloro elementar (C), dióxido de cloro (D), ou hipoclorito de sódio (H), alternados com estágios de extração alcalina utilizando soda cáustica (E) (Klock et al., 2013). As dioxinas são consideradas dos compostos químicos mais tóxicos resultantes da ação do Homem sendo reconhecidas como um poluente ambiental persistente, regulado internacionalmente pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes. Os efeitos na saúde incluem problemas nos sistemas imunológicos, reprodutor e endócrino e em maiores concentrações são cancerígenas. (Who, 2018). As dioxinas (policlorodibenzodioxinas) são compostos formados

³¹ Tsai Lun (105 D.C.) foi um dos ministros ao serviço do Imperador chinês Ho, sendo reconhecido por alguns historiadores como um dos primeiros a produzir papel por um processo que envolvia casca de árvore e trapos.

como subprodutos de várias atividades industriais que envolvem não só o branqueamento da pasta de papel com cloro livre como também a combustão como incineração de resíduos ou o processamento de metais (ASAE, 2018).

Com o intuito de reduzir o teor de compostos clorados, já é reconhecido o termo ECF (Elementary Chlorine Free) no branqueamento, o qual passou a utilizar sequências isentas de cloro elementar. A eliminação total dos compostos clorados veio a ser obtida através da tecnologia TCF (Total Chlorine Free) ou PCF (processo livre de cloro) se nenhum composto contendo cloro for utilizado no processo de reciclagem. As fábricas de celulose podem ser fontes de poluição do ar e da água, especialmente se produzem polpa branqueada. O papel de reciclagem diminui a procura por celulose virgem reduzindo assim, a quantidade total de poluição do ar e da água associada ao fabrico de papel. A polpa reciclada pode ser branqueada com os mesmos produtos químicos utilizados para branquear a polpa virgem, mas o peróxido de hidrogénio e o hidrossulfito de sódio são os agentes de branqueamento mais comuns. (MacFadden and Vogel, 1996). Este processo ainda não tem pleno domínio e aceitação no mercado. O termo “Total Effluent Free (TEF)” começa a ser uma expressão utilizada dentro da indústria de papel e celulose. Como a maior parte da vazão e carga emitidas por uma indústria de celulose provém do branqueamento, geralmente é definida uma fábrica “fechada” como aquela onde o efluente do branqueamento retorna ao sistema de recuperação de produtos químicos (Klock et al., 2013), contudo ainda há muito a fazer quanto às intervenções da indústria papeleira no meio ambiente.

O desperdício de papel representa até 40% do total de resíduos produzidos nos Estados Unidos a cada ano, o que soma até 71,6 milhões de toneladas de papel por ano (EPA, 2006). Quando o papel se deteriora, ele emite gás metano 25 vezes mais tóxico que o CO₂. Estima-se que até 2020, as fábricas de papel produzirão 500 milhões de toneladas de papel e cartão a cada ano. (The world Counts, 2014). Utilizamos mais de 2 pedaços de papel para todos na Terra a cada hora. A procura de papel deverá duplicar entre 2005 e 2030.

No seminário organizado pela Celpa - Associação da Indústria Papeleira e pelo BCSD Portugal - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, ocorrido em 2017, sob o título “Inovar para circular” no âmbito da economia circular, Marco Lucisano (Director da Papermaking and Packaging da divisão de bioeconomia do RISE - Research Institutes of Sweden (Innventia AB)) destacou um dos seus “ingredientes”, a reciclagem, “*onde ainda há muito por fazer*” apesar do papel ser, na Europa, o material com a maior taxa de reciclagem, bem acima do vidro, do alumínio e do plástico. Lucisano apresentou um estudo realizado em cinco países sobre o potencial de uma economia baseada em celulose, onde alguns materiais como o plástico ou têxtil poderiam ser substituídos ou reduzidos (Celpa, 2017).

Os impactos ambientais da indústria de celulose e do papel foram brevemente abordados e existem cada vez mais movimentos internacionais para práticas sustentáveis. O consumo de energia é reduzido pela reciclagem (The Economist, 2007), embora existam divergências sobre as economias reais de energia. A Energy Information Administration (EIA, 2006) reivindica uma redução de energia de 40% quando o papel é reciclado versus papel feito

com polpa não reciclado enquanto o Bureau of International Recycling (BIR) reivindica uma redução de 64% (BIR, 2007). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos descobriu que a reciclagem causa 35% menos poluição da água e 74% menos poluição do ar do que fazer papel virgem EPA (2007).

3.2.6.2. Madeira

A madeira é um dos materiais mais utilizados e antigos no mundo. Cada objeto ou estrutura produzida a partir desta matéria-prima é algo único. Possui grande diversidade de características mecânicas de textura, densidade, higroscopia³², de textura, odor, cor, grão, resistência, entre múltiplos fatores. Desde os nossos antepassados é um material que tem inúmeras aplicações por ser um bom isolante, versátil, de fácil manutenção, renovável, relativamente leve e durável, passível de ser trabalhado em diversas escalas. Como tal é um material bastante cobiçado, especialmente em certas partes do globo, até porque uma vez obtido ou seja derrubadas as árvores, estas levam anos a crescer. A devastação, quer seja por acontecimentos naturais ou por causas provocadas pelo homem é tema de debate profícuo tendo gerado ao longo dos anos ações de sensibilização à proteção da floresta, muitas das vezes sem efeitos.

Os números da Organização das Nações Unidas (ONU) - responsável por catalisar a ação internacional e nacional para a proteção do meio ambiente no contexto do desenvolvimento sustentável para a Agricultura e Alimentação (FAO) revelaram que na década de 2000 a 2010, aproximadamente 13 milhões de hectares/ano de florestas tropicais foram derrubadas. Atualmente, por cada 10 segundos é derrubada uma área de floresta tropical correspondente à superfície do relvado de um campo de futebol, ou seja o equivalente à área de Inglaterra/ por ano. (Paiva, 2016). De acordo com dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), cerca de 1,6 bilhão de pessoas ganha a vida em alguma atividade ligada às florestas, e cerca de 60 milhões de indígenas em todo o mundo dependem exclusivamente delas para a sua subsistência (UN-REDD, 2016), além de serem o habitat de muitas espécies de animais e plantas. A vegetação da floresta Amazônia possui cerca de 10% das reservas de carbono no seu ecossistema. É reconhecido como o lugar mais em risco do planeta. Mas a preocupação não é exclusividade dos brasileiros. Nuvens negras também pairam sobre as Regiões da Indo-Birmânia; Montanhas do Centro-Sul da China; Sunda (Indonésia, Malásia e Brunei); Filipinas (Ásia-Pacífico); Nova Zelândia (Oceânia); Mata Atlântica (América do Sul); Província Florística da Califórnia (América do Norte) e sobre as Florestas Costeiras da África Oriental e as Florestas de Afromontane (África Oriental); Madagáscar e ilhas do Oceano Índico, (continente africano) (Rydlewski, 2011).

Estudos recentes comprovam que a desflorestação não sustentável levará à redução de chuvas e ao aumento de temperatura (Cox *et al.*, 2000)

³² Higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água.

As causas do processo da escassez deste material são diversas (em grande parte, compostas por atividades humanas que provocam ou intensificam a ocorrência deste problema (Rosa, 2014): a primeira é obviamente a extração da madeira, todavia existem outras como a expansão agropecuária (abertura de áreas para agricultura, pastoreio ou áreas rurais à espera de valorização financeira); a instalação de hidroelétricas; atividades mineradoras (áreas que são devastadas para a instalação de equipamentos e atividades de exploração de ouro, prata, bauxite, alumínio, ferro, zinco, entre outros). Mas também derivadas à expansão urbana e ao aumento das queimadas, acidentais ou intencionais.

Diversas organizações como o PNUMA, a ONU, a Greenpeace, a Natural Resources Defense Council ou Agência Europeia do Ambiente, entre muitas outras, procuram promover ações de sensibilização e encorajar parcerias no cuidado ao ambiente, inspirando, informando e capacitando povos e nações a aumentar a qualidade de vida sem comprometer a das futuras gerações.

No caso específico do aglomerado de madeira que se encontra a materializar, no grupo das Madeiras, também reconhecido como painel de partículas, ou MDF. Contextualizando, é um tipo de painel com uma única estrutura em camadas, ou seja são formados por um conjunto/tipo de partículas de madeira, geralmente fabricado a partir de aparas de madeira, aparas de serraria ou mesmo serradura aos quais se adiciona uma resina sintética ou outro aglutinante adequado. É posteriormente prensado a altas temperaturas e extrudido. As variações das placas MDF são placas de LDF (Low Density Fiber) e HDF. A placa de MDF ultralight é referida como ULDF. Sendo provavelmente o mais comum dos produtos derivados de madeira, o aglomerado de partículas é muito versátil no respeitante às suas potenciais aplicações. Pode ainda ser recoberto por uma fina camada de folha de madeira ou de papel melamínico, sendo um produto acessível, de fácil manutenção e com alguma resistência á humidade ou ao fogo (dependendo da sua classificação). Devido às suas características físico mecânicas está perfeitamente adequado todo o tipo de aplicações. (Somapil, 2018). Todas estas matérias-primas são denominadas de materiais compostos (CPA, 2018) que pertencem ao espectro de produtos de fibra de vidro. Antes escondidos dos olhares comuns, são cada vez mais utilizados na construção, em paredes, portas, divisórias, como isolantes térmicos, na decoração de interiores e na indústria do mobiliário, para grande satisfação dos defensores dos 3R (Reduzir-Reciclar-Reutilizar).

3.2.6.3. Fibras

Fibra é uma substância natural ou sintética geralmente finas e alongada, semelhante a filamentos, que podem ser contínuos ou cortados. Uma matéria-prima utilizada na manufatura, que pode ser fiada, entrançada, tecida, em forma de cordas ou dispostas em mantas, para a produção de papel, feltro, tecido ou outros produtos.

As fibras naturais são retiradas da natureza. Podem ser de origem vegetal (e.g. juta, algodão, linho) ou animal (e.g. lã, seda, algodão, angorá, entre outras). Já as fibras artificiais

são fabricadas pelo homem todavia utilizando como matéria-prima produtos da natureza, como a celulose, a viscose CV, o acetato CA, o Lyocel e o Modal.

As fibras sintéticas, são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo. As de maior interesse têxtil são, em ordem de quantidades consumidas, (e.g.) o poliéster, o polipropileno, o *nylon* e o acrílico.

As fibras não aparentam preocupações relacionadas ao fatores enunciados nas primeiras páginas deste capítulo como a condição geoestratégica, a toxicidade (propriamente dita, embora certos processos de fabrico de fibras sintéticas possam anexar alguns níveis de toxicidade), ou o Risco de oferta, pelo que não foram aqui desenvolvidas.

3.2.6.4. Plásticos

Os plásticos são provenientes das resinas derivadas do petróleo e pertencem ao grupo dos polímeros. A denominação “plástico” manifesta as características essenciais destes materiais quanto à sua maleabilidade e moldabilidade (mudança de forma física). Adota-se este termo para identificar materiais que podem ser moldados por intermédio de alterações de condições de pressão e de calor ou por reações químicas. Na generalidade, os polímeros apresentam uma série de excelentes propriedades, como impermeabilidade à água e a micro-organismos, baixa densidade, alta resistência mecânica e baixo custo devido à escala de fabricação e à otimização do processo (Ojeda, 2013).

O primeiro plástico sintético foi desenvolvido no início do século XX e registrou um desenvolvimento acelerado a partir de 1920. Este grupo de materiais é relativamente novo se comparado a outros como Rochas & Pedras, Cerâmicas, Vidro ou ao Papel. São atualmente utilizados numa disparidade de objetos que parte do nosso quotidiano como em utensílios, dispositivos EEE (Equipamentos Elétricos e Eletrónicos) ou em muitas outras áreas, como a indústria automóvel.

Podem dividir-se em duas categorias: os termoplásticos e os termorrígidos ou termoendurecíveis.

- Os primeiros são aqueles que amolecem ao serem aquecidos, podendo ser moldados adquirindo as mais diversas formas e solidificando posteriormente. Este processo pode ser repetido várias vezes, embora possam perder qualidades. Correspondem a cerca de 80% dos plásticos consumidos mundialmente (recicláveis).
- Os termorrígidos ou termofixos são de alta dureza e comportamento frágil, porém, bastante resistentes, sendo muito estáveis a variações de temperatura. Uma vez moldados, não mais se fundem ou por outras palavras, após reação tornam-se infusíveis, não sendo possível o seu reaproveitamento ou reciclagem.

A degradação de um material polimérico consiste na alteração irreversível das propriedades do material, através de reações químicas propiciadas por determinados agentes físicos ou químicos. Regra geral os plásticos são materiais muito resistentes à degradação no

meio ambiente, sendo necessário, para muitos deles, mais de cem anos dada a sua elevada massa molecular que dificulta a ação enzimática dos micro-organismos na superfície do polímero. A opção por polímeros biodegradáveis (a partir de polímeros naturais como a celulose ou o amido), para além de promover a preservação do meio ambiente, pode contribuir para a diminuição da dependência do petróleo (Educa, [s.d.]).

Um estudo realizado pela Trucost (Lord *et al.* 2016) estabelece que o custo ambiental resultante da utilização de plásticos em bens de consumo é de cerca de quatro vezes menor do que se fossem substituídos por materiais alternativos. A investigação baseia-se em métodos de quantificação de capital natural, que medem e valorizam os impactos ambientais - como o consumo de água natural e as emissões para o ar, para a terra e para a água - normalmente ignorados na contabilidade financeira tradicional.

Os relatórios anteriores, como "Valuing Plastics" (Raynaud, 2014) e "The New Plastics Economy: Repensando o Futuro dos Plásticos" (2016) pelo Fórum Económico Mundial, examinaram os custos ambientais do uso de plásticos. Concluindo que a substituição de plásticos em produtos de consumo e embalagens por um conjunto de materiais alternativos (e.g. como o aço, ferro, alumínio, vidro, papel e cartão, têxteis, madeira, peles e borrachas), que proporcionam a mesma função, aumentariam os custos ambientais de US \$ 139 mil milhões para US \$ 533 mil milhões anualmente. Isso porque os plásticos mais resistentes e leves nos ajudam a "fazer mais com menos" material, o que proporciona benefícios ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. O estudo também concluiu que os custos ambientais dos materiais alternativos por tonelada de produção são muito similares (US \$ 2 107 de plásticos face a US \$ 2 057 de materiais alternativos), mas são maiores no agregado devido às quantidades muito superiores (4X) de material necessário para cumprir os mesmos fins que os plásticos. Além disso, os autores do relatório recomendam medidas para ajudar a reduzir ainda mais os custos ambientais globais dos plásticos, como aumentando o uso de eletricidade com menor teor de carbono na produção de plásticos, adotando modos de transporte de baixa emissão, desenvolvendo embalagens plásticas ainda mais eficientes, aumentando a reciclagem e conversão de energia de plásticos em fim de vida para conservar recursos naturais (ACC, 2018).

De acordo com os novos planos, até 2030, todas as embalagens de plástico no mercado da UE serão recicláveis, o consumo de objetos de plástico descartável será reduzido e a utilização intencional de microplásticos será restringida. Segundo a Comissão Europeia, a primeira estratégia destinada aos plásticos integra-se no processo de transição para uma economia circular. Esta estratégia jamais concebida protegerá o ambiente da poluição pelo plástico, fomentando, simultaneamente, o crescimento e a inovação, e transformando um desafio numa agenda positiva para o Futuro da Europa. Existem razões de peso quer económicas quer ambientais para se alterar o ciclo de vida deste grupo de materiais, desde e a forma de conceção, a produção, a utilização e reciclagem dos bens fabricados na UE (Comissão Europeia, 2018). *"A única solução a longo prazo é diminuir a quantidade de resíduos de plástico, reciclando e reutilizando mais"*, declarou Frans Timmermans, primeiro vice-presidente da

Comissão e responsável pelo desenvolvimento sustentável. Os europeus geram, anualmente, 25 milhões de toneladas de resíduos de plástico, das quais menos de 30% são recolhidas para reciclagem. Os plásticos constituem 85% do lixo encontrado nas praias de todo o mundo. O vice-presidente Jyrki Katainen, responsável pelo emprego, crescimento, investimento e competitividade afirmou: *“Esta é uma grande oportunidade para que a indústria europeia consolide, ao nível mundial, a sua posição de vanguarda em novas tecnologias e materiais”*. Entre as medidas apontadas a implementar num futuro próximo é de salientar o apoio à criatividade e inovação (reforçado com o montante adicional de 100 milhões de euros) destinado ao financiamento da criação de materiais plásticos mais inteligentes e mais recicláveis, ao aumento da eficiência do processo de reciclagem, ao rastreio assim como à eliminação de substâncias perigosas e contaminantes provenientes de plásticos reciclados.

No capítulo 1, tabela 14 (pág.29), são quantificados os termoplásticos e poliuretanos e outros plásticos termoendurecidos (adesivos, revestimentos e selantes). A apreciação individual dos tipos de plástico não foi realizada nesta investigação. Deve-se ao facto de agruparem uma diversidade de tipos de polímeros, com custos por tonelada bastante diferenciados entre si, (como já referido no supracitado capítulo) inviabilizando (de momento) a sua análise.

3.3. Principais materiais sob o efeito de Materialização entre 1960 e 2015

Na sequência do capítulo 1, onde se realizou uma análise sobre a evolução do consumo global de 114 materiais vitais na indústria entre 1960 e 2015, subdivididos em 5 grupos principais, foram identificados sob o efeito da materialização 26 materiais entre 1960 e 2015 (excluindo os plásticos, o aglomerado de madeira, as fibras sintéticas e o papel reciclado – o qual como já citado, se torna inclusivamente benéfico para o meio ambiente – dos quais 22 materiais foram analisados (individualmente) relativamente à localização geoestratégica, aos impactos de toxicidade (ambiental/saúde humana) e ao risco de oferta.

Relembrando, são eles: do grupo dos Metais, o alumínio, o cobalto, o estrôncio, o gálio, o índio, o magnésio, o nióbio, a platina e o vanádio do grupo dos Metais; o boro dos Semi-metais; o iodo dos Não metais; o cimento, o feldspato, a mica, o rutilo, as terras raras, a wollastonita e o zircónio dos Minerais e por último o grupo das Rochas & Pedras com a bauxite, os diamantes (industriais), a granada (industrial) e as pedras preciosas.

Geoestratégia

Relativamente ao posicionamento geoestratégico dos 22 materiais analisados destacam-se essencialmente o cobalto e a platina que apresentam situações geoestratégicas peculiares ou concentradas e as terras raras. Dois terços do cobalto mundial são extraídos na RDC. A política instável do país e o trabalho precário exigem o escrutínio na ética do elemento que alimenta os atuais estilos de vida orientados para as novas tecnologias. A platina tem desafios energéticos e ambientais semelhantes, além disso, os seus depósitos são em termos geoestratégicos altamente concentrados. Por fim, as terras raras cujos elementos não são

especialmente raros, contudo tendem a ocorrer juntos na natureza sendo difíceis de separar uns dos outros. Ocorrem em concentrações mínimas menos comuns do que para a maioria dos outros minérios devido às suas propriedades geoquímicas. Os elementos das terras raras encontram-se tipicamente dispersos e raramente são encontrados em depósitos de minério economicamente exploráveis.

Toxicidade

Em 22 materiais que se apresentam sob o efeito da materialização, alguns deles apresentam índices de toxicidade em termos de saúde pública e ambiental. Não existe nenhum material (primário) neste grupo com níveis de alta toxicidade.

Como já foi referido, relativamente a estas substâncias, a toxicidade depende da quantidade, tipo de contacto (ingestão/ proximidade) ou tempo de exposição, assim como outros fatores. À que fazer a distinção entre a extração, o momento de transformação/fabricação e o seu uso. Por exemplo o alumínio é considerado o terceiro elemento químico mais abundante na crosta terrestre e o mais abundante entre os elementos metálicos. Está presente numa diversidade de produtos utilizados no nosso dia-a-dia (e.g. desde talheres, tachos, latas de refrigerante, anti transpirantes, mecanismos de purificação de águas, asas de aviões...). O alumínio não é tóxico como metal, apesar de algumas pessoas manifestarem alergia ao alumínio. Tal como a grande maioria dos materiais, altas concentrações desta matéria-prima, podem causar problemas de saúde. No entanto, é na sua produção fabril que podem existir problemas para a saúde humana e ambiental. A produção do alumínio, desde a extração da bauxita até a transformação da alumina em alumínio, gera alguns gases poluentes, como o gás carbónico (CO₂) e os perfluorcarbonetos (PFCs). Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), em 2010, a produção desta substância primária gerou 2,54 milhões de toneladas de CO₂ e 140 toneladas de PFCs. Devido ao facto do alumínio ser um metal muito estável, a energia necessária para a sua produção é extremamente alta, chegando aos 16,5 kWh para cada quilo de alumínio produzido. Traduzindo este dado: um quilo de alumínio produzido por meio da alumina tem energia mais do que necessária, em média, para manter um computador a funcionar por 8 horas, todos os dias, durante um mês (ECycle, 2013).

Com tendência fraca ou inerte temos materiais como o rutilo, a wollastonita, o nióbio, e a bauxite:

O rutilo é um elemento que se apresenta sob o efeito de materialização de 717% (entre 1960 e 2015), foram consumidos $8,5 \times 10^5$ t em 2015, é um material praticamente inerte, não tóxico e quimicamente não irritante.

A wollastonita com valor equivalente de 1 875%, no mesmo período – cujos ensaios realizados pelo IARC (International Agency for Research on Cancer) – foram inadequados ou negativos. Foram consumidas $7,20 \times 10^5$ t em 2015.

O nióbio é fisiologicamente inerte e inofensivo, sendo outro dos materiais que se encontra sob efeito da materialização entre os anos de 1960 e 2015, com 2 493%. Foram consumidos $6,43 \times 10^4$ t em 2015.

Como anteriormente referido a bauxite é minério de alumínio, sendo a principal fonte deste material. No entanto os seus riscos químicos são reduzidos, porque é geralmente considerado como biologicamente inerte. Está categorizado como um pó incómodo ou uma partícula não especificada. Foram realizados alguns estudos sobre este material envolvido com o setor de mineração, no entanto, estes não foram associados a impactos adversos para a saúde. A bauxite apresenta um crescimento de 962% entre 1960 e 2015. Foram produzidos globalmente 2, 93 x 10⁸ t em 2015.

Com alguns índices de toxicidade destacam-se o cobalto, o estrôncio, o gálio, o índio, a platina, o vanádio, o iodo, a mica e as terras raras. Evidenciam-se de alta toxicidade os compostos de gálio, índio e de vanádio e ainda o cromato de estrôncio.

O cobalto metálico em pó finamente tratado é tóxico. Os compostos de cobalto geralmente devem ser manipulados com cuidado devido à toxicidade do metal. Segundo a IARC (International Agency for Research on Cancer) e a AACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health), o cobalto e os seus compostos podem ser agentes cancerígenos para o Homem, uma vez que já foram realizados testes conclusivos em laboratório (com animais). Segundo a USGS (Shedd, 2018), a substituição do cobalto em algumas aplicações, resultaria numa perda no desempenho do produto. A extração do cobalto advém quer de mina, quer de refinaria. O cobalto (mina) aumentou a produção em 2015 para 1,26 x 10⁵ t. A produção diminuiu em -7% entre o ano de 1990 a 2000 recuperando entre a década de 2000 a 2010 para 180%. Entre os anos de 1960 e 2015 apresenta uma taxa de crescimento de 787%.

O Homem encontra-se exposto ao estrôncio, através do ar, na água nos alimentos ou nos solos. Este elemento solúvel pode poluir a água potável, mas felizmente as concentrações são relativamente baixas. O único composto que é considerado um perigo para a saúde humana, mesmo em quantidades reduzidas é o cromato de estrôncio. Aliás, a sua utilização está agora mais restrita pela Comissão Europeia, pelo facto de se encontrar entre as substâncias de grande preocupação, no entanto é bastante aplicado na construção e na manutenção de veículos à semelhança do alumínio. O estrôncio teve uma diminuição entre o ano de 2000 e 2010 em cerca de 18%, e uma recuperação em cerca de 9% em entre 2010 e 2015. Entre 1960 e 2015 apresenta um aumento percentual de 2 978%. Sendo que a sua produção anual de 3,54 x 10⁵ t em 2015.

O gálio, puro não é uma substância prejudicial para o ser humano, no entanto deixa rastro por onde passa na pele. (Lenntech, 2018). Embora não seja prejudicial em pequenas quantidades, o gálio não deve ser propositadamente consumido, como a generalidade dos materiais. Contudo, alguns compostos de gálio podem ser muito perigosos. Entre os anos de 1960 e 2015 o gálio apresenta um crescimento de 2 565%, no entanto um elemento com pouca expressão em 2015 (4,69 x 10² t) no contexto geral dos materiais analisados.

Todos os compostos do índio devem de ser considerados altamente tóxicos. A utilização de compostos de índio, especialmente aqueles de pequeno tamanho, para a produção de semicondutores, painéis de cristais líquidos, entre outros, aumentaram recentemente. No

entanto, o tamanho das partículas ou a composição química dos compostos de índio na sua toxicidade e distribuição no corpo humano não foram suficientemente investigados, pelo que a Lenntech (2018) aconselha o máximo de cuidado na manipulação dos mesmos. O índio apresentou valores negativos entre 1970 e 1980 (-27%), tendo vindo a recuperar. A taxa de crescimento entre 1960 e 2015 corresponde a 1 024%. A sua produção anual em 2015 é de $7,69 \times 10^2$ t.

A platina como metal não é muito perigosa, mas os sais de platina podem causar vários efeitos na saúde, tais como: alterações do ADN, cancro, reações alérgicas entre outros. A platina também é emitida para o ar através dos escapes dos carros que utilizam gasolina com chumbo. A produção anual da platina (2015) correspondeu a $4,71 \times 10^2$ t, sendo que entre 1960 e 2015 a sua percentagem crescimento foi de 1 086%

À semelhança do índio, todos os compostos de vanádio também devem de ser considerados tóxicos. A Agência de Proteção Ambiental (EPA) identificou os locais de resíduos perigosos dos EUA. Colocado na Lista de Prioridades Nacionais (NPL - National Priorities List), o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health) determinou níveis mínimos de exposição a esta substância, evitando problemas de maior na saúde. A produção mundial em 2015 de vanádio é de $7,78 \times 10^4$ t. Teve uma diminuição (-8%) entre a década de 1980-1990.

O iodo elementar é tóxico se for tomado por via oral sem diluir e o seu vapor irrita os olhos e os pulmões. Todos os iodetos são tóxicos se tomados em excesso. O iodo 131 aumenta o risco de cancro e possivelmente é causador de outras doenças. Entre os anos de 1960 e 2015 o iodo apresenta-se sob efeito de materialização com uma taxa de crescimento de 910%. A sua produção anual é de $3,06 \times 10^4$ t em 2015.

A Administração da Segurança e Saúde do Trabalho (OSHA - Occupational Safety & Health Administration) e o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) definiram quantidades mínimas de exposição ao pó mica, uma vez que é considerada uma substância perigosa por inalação acima de determinadas concentrações. A mica apresenta-se na forma de flocos, folha e mica natural. Neste caso, entre os anos de 1960 e 2015, a mica flocos materializa com uma taxa de 874%. A sua produção anual é de $1,13 \times 10^6$ t em 2015.

O contato com a pele deve ser evitado, especialmente com as terras raras dos grupos térbio e itérbio. As terras raras emitem vapores tóxicos que devem ser controlados, no entanto as causas de maior poluição são atribuídas ao processamento dos diversos minérios que as compõem. A sua extração e triagem implicam contaminação ambiental, ao que acresce toda a estrutura envolvente de fábricas, veículos e instalações necessárias ao processamento dos mesmos, dizimando em décadas paisagens e ecossistemas inteiros. Dos minerais é o que apresenta maiores índices de materialização com 5 627% entre os anos de 1960 e 2015. A sua produção em toneladas é de $1,30 \times 10^5$ em 2015.

Os restantes materiais com menor expressão de toxicidade são: o alumínio, o cimento, o magnésio, o boro, o feldspato, o zircónio, a bauxite, os diamantes (industriais), a granada (industrial) e as pedras preciosas.

O alumínio é um dos metais mais utilizados e também um dos compostos mais frequentemente encontrados na crosta terrestre. É comumente conhecido como um composto inocente, no entanto envolve certos riscos quando um indivíduo está exposto a altas concentrações ou poeiras, como minas e certos locais de trabalho como as fábricas de produção. O alumínio, com exceção dos elementos que entram no ferro e aço é o metal com maior expressão com $5,7 \times 10^7$ t consumidas no ano de 2015, representando um aumento entre os anos de 1960 e 2015 de 1 181%.

O cimento é o material mais utilizado a nível nacional na construção civil. A generalidade dos consumidores reconhece o cimento como um material irritante, sendo de evitar o contacto sem a proteção adequada. Contudo importa aqui o processo produtivo do cimento porque é apontado como gerador de impactos negativos tanto ambientais, como sociais ou seja, por um lado geram contaminações no ar, na água ou nos solos e por outro, questões relacionadas à saúde humana, com implicações no bem-estar das populações. Atualmente, nem todas as fábricas são problemáticas, uma vez que se impõe a atenção a legislações mais apertadas, com o intuito de alcançar uma maior responsabilidade socio ambiental. A sua produção anual é de $4,06 \times 10^9$ t em 2015. Entre os anos de 1960 e 2015 representa uma taxa materialização de 1 183%.

O magnésio apresenta aparentemente baixa toxicidade e não é considerado perigoso para a saúde. A produção mundial de magnésio é de cerca de $9,72 \times 10^5$ t em 2015. Sendo que apresenta entre 1960 e 2015 uma taxa de crescimento de 946%.

Os efeitos sobre a saúde dependem fortemente do tipo do nível de exposição e da imunidade da pessoa exposta à platina. O metal primário não tem efeitos especiais contudo os seus sais podem causar efeitos nefastos sobre a vida das pessoas. A produção anual da platina é de $4,72 \times 10^2$ t em 2015. Entre 2010 e 2015 apresentou uma ligeira diminuição. A taxa média entre os anos de 1960 e 2015 foi de 1 086%.

O boro elementar, o óxido de boro, o ácido bórico, os boratos e muitos compostos de boro são relativamente não tóxicos para seres humanos e animais (com toxicidade semelhante à do sal de mesa). O ácido bórico é tóxico para os insetos. Os boranos (compostos de hidrogénio de boro) e compostos gasosos similares são bastante venenosos. Como de costume, não é um elemento que seja intrinsecamente venenoso, mas a sua toxicidade depende da estrutura (Garrett, 1998; Calvert, 2002). O boro apresenta uma taxa de crescimento 1 485% entre os anos de 1960 e 2015. A produção mundial em 2015 foi cerca de $9,30 \times 10^6$ t.

Tal como muitos materiais, são necessários cuidados na manipulação deste material o qual pode causar danos ou irritações oculares, corrosão ou irritação da pele. Pode inclusive causar danos aos pulmões através de inalação prolongada ou repetida. O feldspato entre os

anos de 1960 e 2015 apresentou um efeito materializante de 1 346% e a produção mundial é de cerca de $2,27 \times 10^7$ t em 2015.

O zircónio e seus sais geralmente apresentam baixa toxicidade pelo que não apresenta motivos de preocupação. O zircónio entre os anos de 1960 e 2015 apresenta uma taxa de 1 078%, sendo que a produção mundial no ano de 2015 foi de $1,51 \times 10^6$ t.

Os diamantes industriais, a granada e as pedras preciosas não foram abordadas quanto à sua toxicidade. Relativamente aos seus valores sob o efeito materializante, os diamantes (industriais) apresentam os maiores índices de crescimento de todos os materiais enunciados com 20 888%, a granada com 14 222% entre 1960 e 2015. As pedras preciosas apresentam taxas de crescimento de 930%. E quanto à produção mundial (2015) apresentam, $8,81 \times 10^2$ t; $1,69 \times 10^6$ t e $1,38 \times 10^1$ t, respetivamente.

Risco de Oferta

Quanto à análise relativa ao Risco de oferta destes 22 materiais, por ordem decrescente de abundância encontram-se a platina (que ocupa a 71ª posição (em 78 materiais), o índio, o iodo, o gálio, o nióbio, o cobalto, o vanádio, o zircónio, o estrôncio, o magnésio, liderados pelo alumínio (o qual ocupa a 3ª posição entre 78 materiais), sendo no entanto o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre.

Minerais como o rutilo, o cimento, o feldspato, a mica e o conjunto das terras raras (compostas por 17 elementos) não se encontram posicionados no citado ranking dos (78) materiais mais abundantes da crosta terrestre. No entanto, à exceção de 3 elementos que variam em abundância crustal das terras raras - como o hólmio, samário e promécio encontram-se em ordem decrescente de elemento mais abundante em ppm, o cério (27ª posição, tão abundante quanto e.g. o cobre), o neodímio (28ª), o lantânio (29ª), o ítrio (30ª), o escândio (36ª), o praseodímio (40ª), o gadolínio (42ª), disprósio (43ª), o érbio (45ª), o itérbio (46ª), o európio (50ª), o térbio (57ª), o túlio (58ª) e por último o luténio que se encontra na 61ª posição (em 78 elementos contabilizados).

Os restantes elementos pertencentes ao grupo das Rochas & Pedras com a bauxite, os diamantes (industriais), a granada (industrial) e as pedras preciosas também não foram contemplados no ranking, no entanto não parece haver razões de preocupação quanto à oferta destes materiais.

Uma ampla gama de tecnologias existentes e emergentes utilizadas por economias desenvolvidas e em desenvolvimento rápido estão a gerar uma procura sem precedentes de minerais materiais menos comuns, como o lítio, o cobalto, o índio, o gálio, o antimónio, o berílio, elementos de terras raras (REE - Rare Earth Elements). Essas tecnologias vão desde novas fontes de energia alternativas até utilizações de rotina aparentemente mundanos, como retardadores de fogo. Por uma variedade de razões, os suprimentos desses elementos tendem a atrasar significativamente a procura. Segundo a USGS, uma das principais causas desse atraso é a quantidade limitada de exploração realizada nas últimas décadas para novas fontes destes

materiais. Existem lacunas significativas no nosso conhecimento da ocorrência geológica, disponibilidade de recursos, métodos de extração e comportamento ambiental e gestão destes elementos. Garantir um abastecimento adequado depende da aprendizagem de como descobrir e desenvolver novas fontes de abastecimento de forma económica e ambientalmente sustentável.

3.4. Principais materiais sob o efeito de Desmaterialização entre 1960 e 2015

Na sequência do capítulo 1, onde se realizou uma análise sobre a evolução do consumo global de 114 materiais vitais na indústria entre 1960 e 2015, subdivididos em 5 grupos principais, foram identificados sob o efeito da desmaterialização 14 materiais entre os anos de 1960 e 2015. No entanto, à semelhança do item anterior excluem-se 5 materiais dos grupos: Celulose e Derivados como o papel revestido; a polpa (sulfito branqueado) e os papéis de embrulho; do grupo da Madeira corresponde aos troncos industriais e madeira s/revestimento; do Grupo das Fibras, a Lã. Isto porque não apresentam índices relevantes de impacto geoestratégico, níveis de toxicidade ou risco de oferta.

Em suma, vamos de seguida analisar, do grupo dos Metais, o berílio, o mercúrio e o tálio; do grupo dos Semi-metais, o arsénio e o telúrio e por último do grupo dos Minerais, o amianto e a mica (que corresponde à mica folha e a mica natural).

Geoestratégia

Relativamente à situação geoestratégica dos materiais que se encontram a desmaterializar, este item não se aplica uma vez que estes materiais não apresentam questões que mereçam discussão, relacionadas com este fator.

Toxicidade

Metais como o berílio, o mercúrio e o tálio são perigosos, apresentando níveis de toxicidade elevada e ecotoxicidade.

O berílio é um metal medianamente abundante (encontrando-se posicionado na 48ª posição no ranking de 78 elementos). O berílio pode causar doenças crónicas com risco de vida. É conhecido por ser um carcinogénico humano (por inalação originando cancro do pulmão). Este ocorre naturalmente no meio ambiente em pequenas quantidades, contudo os humanos contribuem na adição de berílio através da produção de metal e combustão de carvão e petróleo. Tanto o berílio como os seus compostos devem ser manipulados com muito cuidado; precauções extremas devem ser tomadas nas atividades profissionais que manuseiam este tipo de materiais evitando a contaminação do meio ambiente.

O mercúrio, sendo um metal pesado acumula-se no organismo, além de causar desordens imunológicas, perda da memória, falha reprodutiva, alteração do ADN, interrupção do metabolismo e da função celular podendo inclusivamente causar a morte. A contaminação

ambiental por mercúrio é resultado de ações antrópicas (ação humana) que envolvem este elemento como efluentes industriais (fabricação de soda cáustica) e na mineração do ouro, o que provoca a contaminação de muitos afluentes e rios. As águas superficiais ácidas podem conter quantidades significativas de mercúrio. Quando os valores de pH se encontram entre cinco e sete, as concentrações de mercúrio na água aumentarão devido à mobilização de mercúrio no meio ambiente com implicações na cadeia alimentar.

A presença de chumbo elementar na natureza é rara ocorrendo com outros materiais do qual é extraído. O chumbo encontra-se presente nos alimentos enlatados, nos jornais, em alguns cosméticos, cremes dentífricos, inseticidas, entre outros. A exposição a este metal afeta negativamente o corpo humano. A maioria das concentrações de chumbo que são encontradas no ambiente é resultado de atividades humanas. Devido à aplicação de chumbo na gasolina, nos motores de automóveis quando este material é queimado, originando sais de chumbo (cloro, bromo, óxidos). As partículas maiores poluirão os solos ou as águas superficiais, as menores permanecerão na atmosfera. Este ciclo de conduta causado pela ação humana é muito mais extenso pelo que existe como problemática mundial.

O arsénio e o telúrio pertencentes ao grupo dos Semi-metais são igualmente considerados tóxicos.

O arsénio e os seus compostos são extremamente tóxicos, especialmente o arsénio inorgânico. Milhões de pessoas no mundo inteiro, em especial nos países em desenvolvimento, adoecem e morrem sem conhecer que a causa de suas doenças é o envenenamento crónico por arsénio. Os seres vivos podem estar expostos ao arsénio através dos alimentos, da água e do ar. A tolerância é dita relativa porque a acumulação de arsénio no organismo causa doenças a médio/longo prazo, principalmente no ser humano. A absorção de quantidades significativas de arsénio inorgânico pode intensificar as probabilidades de adquirir cancro. Uma exposição elevada a este último pode inclusivamente causar infertilidade, abortos espontâneos, danificar o ADN, entre outros.

O telúrio é um metaloide levemente tóxico e raro. Já os seus compostos são considerados tóxicos e necessitam de ser manuseados com cuidado, embora a intoxicação aguda seja rara. Contudo é um elemento mutagénico. O envenenamento por telúrio é particularmente difícil de tratar, pois muitos agentes utilizados no tratamento da intoxicação por metais aumentarão a toxicidade do mesmo. Relativamente ao meio ambiente não é prejudicial ou é prontamente considerado inofensivo por processos naturais.

Finalmente do grupo dos minerais, o amianto e a mica, eles também considerados tóxicos.

O amianto ou asbesto é o nome dado a um conjunto de minerais fibrosos com diferentes características que ocorrem naturalmente no meio ambiente. O consumo de minerais de amianto diminuiu de forma constante durante as últimas décadas Este declínio ocorreu como resultado de problemas de saúde e de responsabilidade associados à utilização do amianto, levando à procura de materiais alternativos/substitutos e ao desenvolvimento de novas

tecnologias conforme afirmou a USGS. Isto porque as diferentes variedades de amianto são agentes cancerígenos, devendo a exposição a qualquer tipo de fibra de amianto ser reduzida ao mínimo.

A mica em folha e a mica natural não apresenta sinais de toxicidade exceto aquando do seu manuseamento, corte ou quebra, uma vez que o pó de mica no local de trabalho é considerado uma substância tóxica por inalação acima de determinadas concentrações.

Diversas organizações mundiais de saúde e de proteção do meio ambiente vêm há décadas, impondo regras de utilização e de aplicação destes materiais, onde os níveis de toxicidade estão comprovados. Se alguns continuam a ser utilizados já foram impostas limitações e até ao momento não se encontraram substitutos, ou eventualmente os substitutos existem mas não desempenham com eficácia as funções para que são destinados.

Risco de oferta

Por último, relativamente ao risco de oferta os 14 materiais demonstram existir um pouco por todo o planeta, alguns mais concentrados que outros mas sem razões de aparente escassez quanto ao seu fornecimento.

No grupo da Celulose & Derivados relativamente ao papel revestido no ano de 2015, foram produzidas mundialmente do $3,93 \times 10^7$ t; de polpa (sulfito branqueado) o correspondente a $1,40 \times 10^6$ t e os papéis de embrulho o equivalente a $9,03 \times 10^6$ t. Estes materiais desmaterializaram entre 1960 e 2015, com índices de -5%, -37% e -31%, respetivamente.

No grupo da Madeira, para o mesmo ano foram produzidas, o corresponde a $1,66 \times 10^8$ t dos troncos industriais e da madeira s/revestimento $3,15 \times 10^7$ t; sob o efeito de desmaterialização de -1% e de -9% conforme ordem.

No Grupo das Fibras, para o ano de 2005, a produção de lã equivale a $1,8 \times 10^6$ t, sofreu uma diminuição de consumo em -26% entre 1960 e 2015, encontrando-se sob efeito de desmaterialização.

No grupo dos Metais no ano de 2015, foram mundialmente produzidas, $2,30 \times 10^2$ t de berílio; $3,27 \times 10^3$ t de mercúrio e 1×10^1 t de tálio, sendo que estes materiais apresentam percentagens de desmaterialização entre os anos de 1960 a 2015 de -48%; -61% e -23%, respetivamente.

No grupo dos Semi-Metais em 2015, a produção mundial de arsénio foi de $2,76 \times 10^4$ t e o telúrio de $9,5 \times 10^1$ t, sendo que desmaterializaram entre os anos de 1960 e 2015 cerca de -20% e -46%, na devida ordem.

No grupo dos Minerais, em 2015 a produção mundial de amianto correspondeu a $2,03 \times 10^6$ t; a mica em folha a $2,30 \times 10^3$ t. Estes materiais desmaterializaram entre 1960 e 2015, -85; -82% respetivamente.

3.5. Análise comparativa entre o período de 2010-2015 e o de 1960-2015

Materiais sob o efeito da materialização

Após a realização da análise anterior entre os anos de 1960 e 2015, o equivalente a um período bastante alargado de 55 anos, verificou-se que dos 114 materiais, 26 deles aparentavam um efeito de materialização. Vai-se agora proceder a uma análise comparativa, mais curta, mais precisamente dos últimos 5 anos, entre os anos de 2010 e 2015 na tentativa de observar algum padrão ou uma tendência neste período de tempo mais próximo.

Assim sendo, entre os anos de 1960 e 2015 encontravam-se 26 materiais sob efeito de materialização, passando para 25 materiais entre o período de 2010 a 2015.

No grupo dos Metais entre os anos de 1960 e 2015, existiam 9 materiais sob o efeito de materialização. Entre 2010 e 2015 existem 11, o que se traduz num aumento de 2 materiais comparativamente ao período anterior. Só 3 materiais permanecem nos dois períodos em questão: o alumínio (38%), o gálio (63%) e o magnésio (28%). Os materiais que se ausentaram entre 2010 e 2015 são 6: o cobalto (19%), o estrôncio (9%), o índio (16%), o nióbio (9%), o vanádio (9%) e a platina (-0,02%), este último que inclusivamente transitou de um efeito de materialização para um efeito de forte desmaterialização. Em contrapartida verifica-se que os que ingressaram (entre 2010-2015) sendo eles o bismuto (63%), o composto de magnésio (28%), o crómio (25%), o lítio (26%), o mercúrio (50%), o níquel (33%), o tântalo (27%), e o tungsténio (31%), que correspondem a 8 materiais.

No grupo dos Semi-metais, além do material que já anteriormente se mantinha que era o boro (128%), tem-se a acrescer o germânio (36%).

No grupo dos Não metais, entre 1960 e 2015 existia o iodo no entanto, entre o período agora analisado o grupo não regista qualquer material sob o efeito de materialização.

No grupo dos Minerais existiam 7 elementos a materializar (1960-2015). Entre 2010 e 2015, há menos um material, ou seja passam para seis. Mantêm-se o cimento (23%), as terras raras (29%) e a wollastonita (40%). Saíram o feldspato (5%), a mica flocos (2%), o rutilo (17%) e o zircónio (19%). Ingressaram em 2010 e 2015 a alumina (38%), o fosfato de rocha (32%) e a perlite (106%).

No grupo das Rochas & Pedras diminuiu um caso sob o efeito de materialização. O que se mantém é somente o bauxita (23%). Saem os diamantes industriais (-1%) e as pedras preciosas (-1%), que passam diretamente do efeito sob materialização para a forte desmaterialização, traduzindo-se na diminuição real do material consumido. A acrescer, a granada (industrial) (20%) perdendo importância no período em questão, possivelmente pela substituição de materiais ou tecnologias utilizadas em operações abrasivas de polimento e jateamento. Neste grupo ingressaram 2 materiais, sendo eles a areia e gravilha industrial (67%) e a diatomite (41%).

No grupo da Celulose e derivados, entre 1960 e 2015 havia um material a materializar ou seja o papel reciclado. Entre 2010-2015 não existe nenhum material deste grupo.

No grupo da Madeira, entre 1960 e 2015 existia um material sob o efeito da materialização, o aglomerado de madeira, que se mantém (agora com 71%) entre 2010-2015.

No grupo das Fibras, entre o período de 1960-2015, as fibras sintéticas mantêm-se a materializar. Entre 2010 e 2015 representam um aumento de 27%. No último período a analisar tem-se a acrescer as fibras celulósicas³³ (41%) estas últimas não constituindo motivo de estudo neste capítulo.

Recapitulando, comparativamente entre o período de 2000-2015 e o de 1960-2105, relativamente aos materiais sob o efeito da materialização por grupos são:

Entradas (15)

- Metais: o bismuto, o composto de magnésio, o crómio, o lítio, o mercúrio, o níquel, o tântalo e o tungsténio;
- Semi-metais: o germânio;
- Minerais: a alumina, o fosfato de rocha e a perlite;
- Rochas & Pedras: a areia e gravilha industrial e a diatomite;
- Fibras: as fibras celulósicas;

Mantiveram (10)

- Metais: o alumínio, o gálio e o magnésio;
- Semi-metais: o boro;
- Minerais: cimento, terras raras, Wollastonita;
- Rochas & Pedras: bauxita;
- Fibras: as fibras celulósicas;
- Madeira: o aglomerado de madeira;

Saídas (15)

- Celulose e derivados: o papel reciclado;
- Rochas & Pedras: os diamantes industriais, a granada e as pedras preciosas;
- Metais: cobalto, estrôncio, índio, nióbio, platina, vanádio;
- Não-metais: o iodo;
- Plásticos: os plásticos;
- Minerais: o feldspato, a mica flocos, o rutilo e o zircónio;

Nesta análise comparativa entre os materiais que se apresentam sob efeito de materialização verificou-se que no período entre 1960-2015 existiam 26 elementos nesta condição passando para 25 entre 2010-2015, ou seja menos um do que o verificado anteriormente.

Entrando para o período 2010-2015 mais 15 elementos no entanto anulados pelas saídas que apresentam o mesmo valor. De salientar a saída dos plásticos do conjunto de materiais sob efeito de materialização interrompendo um período de 5 décadas consecutivas nessa categoria.

³³ As fibras celulósicas são constituídas por celulose regenerada ou por um derivado da celulose, subdividindo-se em naturais, artificiais ou modificadas.

Mantiveram-se 10 elementos na mesma condição no entanto as movimentações fornecem um panorama das matérias-primas com maior o menor relevo neste contexto como se pode verificar acima.

Apesar de aparentar alguma toxicidade com consequências em seres humanos, entre os metais pesados, o bismuto é o único que praticamente não é considerado tóxico sendo que este material é um substituto ambientalmente amigável de alguns materiais.

O composto de magnésio é amplamente utilizado na indústria e na agricultura. Apresenta aparentemente baixa toxicidade e não é considerado perigoso para a saúde.

O cromo metálico não é considerado especialmente, um risco para a saúde. Trata-se de um elemento essencial para o ser humano, porém em altas concentrações é tóxico e os seus compostos aparentam riscos mais elevados de toxicidade.

O lítio é corrosivo para os olhos, a pele e vias respiratórias, como tal é considerado uma substância com níveis de toxicidade explícitos. No entanto, à semelhança do níquel é um dos materiais em grande ascensão com aplicações insubstituíveis nas inovações e produtos desta nova tecnosfera.

Em pequenas quantidades, o níquel é essencial, mas quando a exposição é muito alta, pode ser um perigo para a saúde humana. A quantidade admissível na aplicação de níquel em produtos está regulamentada, uma vez que esta substância é cancerígena.

O mercúrio metálico continua a ser utilizado em uma variedade de produtos domésticos e industriais apesar de ser reconhecidamente uma substância tóxica, porém, não tem substitutos que desempenhem com idêntica performance as suas funções.

O tântalo apresenta alguma toxicidade e tal como ocorre com outros materiais se apresentado em altas concentrações pode ser prejudicial para o ser humano. A principal utilização para este material, como o pó de metal, está na produção de componentes eletrónicos, principalmente condensadores e alguns resistores de alta potência. Apesar de mencionado como uma substância algo tóxica para a vida animal os efeitos do tungsténio sobre o ambiente são limitados, uma vez que é raro e os seus compostos geralmente inertes.

Como mantém a sua resistência a altas temperaturas e tem um alto ponto de fusão, o tungsténio elementar é usado em muitas aplicações de alta temperatura, nos produtos tecnológicos.

A alumina é um excelente isolador térmico e elétrico, pelo que tem ampliado a sua utilização, para além de ser um componente essencial na produção do alumínio. É uma substância considerada bioacumulativa e de toxicidade moderada em seres humanos.

O fosfato de rocha está classificado como material irritante para a saúde. Aproximadamente 90% desta substância é utilizada para suplementos de fertilizantes e alimentos para animais e o equilíbrio para produtos químicos industriais, não existindo substitutos, o que parece justificar a sua materialização.

Algumas entidades internacionais já estabeleceram limites de exposição à perlite, pelo que aparenta alguma toxicidade. Devido à sua baixa densidade e acessibilidade de preço desenvolveram-se inúmeras aplicações industriais nas áreas de construção e fabricação, sendo

usada em rebocos leves, betão e argamassa (alvenaria), em isolamento e telhas, tendo também aplicações na agricultura.

Á semelhança da perlite e das areias e gravilhas, a diatomite é aplicada essencialmente na construção. As aplicações principais de diatomite (nos EUA) foram nos sistemas filtrantes (56%), como aditivo de cimento (15%), enchimentos (14%), absorventes (13%) e outros (2%).

As fibras celulósicas são constituídas por celulose regenerada ou por um derivado da celulose, subdividindo-se em naturais, artificiais ou modificadas.

Confirma-se que o aumento dos materiais destinados aos componentes para as inovações elétricas e eletrónicas. Alguns materiais considerados tóxicos entre os anos de 1960 e 2015 ausentaram-se no entanto outros igualmente tóxicos tomaram o seu lugar. Entre as substâncias introduzidas entre 2000 e 2015 algumas são consideradas tóxicas, como o lítio, o crómio, o níquel e o mercúrio, pelo que não se rompeu o padrão com os materiais tóxicos, apesar dos progressos em I&D. Isto porque até ao momento não foram encontrados substitutos que cumpram as suas funções com a mesma eficiência.

Materiais sob o efeito da desmaterialização

Pelo contrário, entre os anos de 1960 e 2015, verificou-se que dos 114, 14 materiais apresentavam um efeito de Forte desmaterialização. Á semelhança da análise anterior vai-se proceder a uma análise comparativa, entre o mesmo período de tempo, desde 2010 e 2015 na tentativa de observar algum padrão ou uma tendência dos materiais sob o efeito da desmaterialização, verificando desde já que não houve registos de materiais a ausentar. Os que estavam assim permaneceram, crescendo outros.

No grupo dos Metais entre os anos de 1960 e 2015, existiam 3 materiais sob o efeito de desmaterialização, que eram o berílio (-48%), o mercúrio (-61%) e o tálio (-23%). Entre 2010 e 2015 existiam 4, o que se traduz num aumento de 1 material comparativamente ao período anterior. Só 1 material permanece nos dois períodos em questão: o tálio (0%), aumentando a sua importância ainda que negativa. Os materiais que se ausentaram são 2, o berílio e o mercúrio. Acresce o cádmio (-2%), o ferro (-7%) e a platina (-0,2%).

No grupo dos Semi-metais, entre 1960 e 2015 existiam o arsénio (-20%), e o telúrio (-46%), que se mantêm no período em análise tendo ambos continuado sob o efeito de desmaterialização. Acresce o antimónio (-22%).

No grupo dos Não metais, entre 1960 e 2015 não existiam materiais sob o efeito da desmaterialização, ao passo que entre 2010-2015 cresceram o bromo (-8%), o enxofre (-1%) e o selénio (-2%).

O Grupo dos Minerais apresentava entre 1960 e 2015, 3 materiais sob o efeito da desmaterialização. Eram eles o amianto a mica em folha e a natural. Esta última ausentou-se no período em estudo mas o amianto (-8%) e a mica folha (-56%) permaneceram. Cresceram mais 8. São eles a escória de ilmenite e titânio (-4%); a fluorite (-5%); minerais de titânio (-6%); molibdénio (-4%); óxido de ferro (-31%); sal (-0,4%); sulfato de sódio (-0,1%) e vermiculita (-4%). Perfazem um total de 10 materiais sob o efeito de desmaterialização entre 2000-2015.

No grupo das Rochas & Pedras não existiam materiais sob o efeito de desmaterialização entre 1960 e 2015. Entre 2005-2015 acrescem 3, os diamantes industriais (-1%), a pedra-pomes /púmice (-0,1%) as pedras preciosas (-1%).

No grupo da Celulose e derivados, entre 1960 e 2015 havia 3 materiais a desmaterializar sendo o papel revestido, a polpa (de sulfito branqueado) e Outros papéis de embrulho. Entre 2010-2015 a crescer a estes 3 que se mantiveram, ingressaram mais 9 materiais. São eles: a celulose para papel (-2%); papel de imprensa (-25%); pasta e outras fibras (-33%); papel de impressão e de escrita (-7%); papéis gráficos (-12%); pasta e outras fibras (-33%); polpa mecânica (-18%); outras polpas (-33%); outros papéis e cartões (-5%). Perfazem um total de 12 materiais sob o efeito de desmaterialização entre 2000-2015.

No grupo da Madeira, entre 1960 e 2015 existiam 2 materiais a desmaterializar, a madeira sem revestimento e os troncos industriais. Entre 2010-2015, embora ambos se tenham mantido existem mais 7, num total de 9 materiais a desmaterializar. São eles: apara e partículas (-6%); madeira em pasta (mecânica) (-8%); madeira em tronco (m3) (-0,1%); madeira para combustível (m3) (-1%); madeira sem revestimento (-4%); madeira serrada (-12%); polpa de madeira (0%); toras para folheados (19%) e troncos industriais (-2%).

No grupo das Fibras, entre o período de 1960 - 2015, a lã fazia parte de ambas as datas a analisar, crescendo o algodão (1%).

Em suma, entre o período de 2000 a 2015, relativamente aos materiais sob o efeito da desmaterialização que ingressaram são: do grupo dos Metais, o cádmio, o ferro e a platina; dos Semi-metais o antimónio; do grupo dos Minerais, escória de Ilmenite e titânio; a fluorite; minerais de titânio; molibdénio; óxido de ferro; sal; sulfureto de sódio e vermiculita; no grupo das Rochas & Pedras, os diamantes industriais, a pedra-pomes/púmiceas e pedras preciosas; no grupo da Celulose e derivados a celulose para papel; papel de imprensa; pasta e outras fibras; papel de impressão e de escrita; papéis gráficos; pasta e outras fibras; polpa mecânica; outras polpas e outros papéis e cartões; no grupo da Madeira apara e partículas; madeira em pasta (mecânica); madeira em tronco (m3); madeira para combustível (m3); madeira sem revestimento; madeira serrada; polpa de madeira; toras para folheados e por último no grupo das Fibras, o algodão.

Nota Conclusiva

Relativamente ao posicionamento geoestratégico, de entre os materiais analisados destacam-se essencialmente o cobalto, a platina e as terras raras que apresentam situações geoestratégicas peculiares ou concentradas. Concluindo-se que estes três materiais são de extrema-relevância podendo funcionar como um elemento retardatário para o desenvolvimento tecnológico.

Verificou-se que os materiais raros são subdivididos pelo grupo dos Metais: o bismuto, o cádmio, o índio, o mercúrio, o ouro, a platina, a prata, o rénio e o tálio. Pelo grupo dos Semi-metais, são o antimónio, o arsénio, o germânio e o telúrio. Pelo grupo dos Não metais, o bromo, o iodo e o selénio.

Relativamente à toxicidade, dos elementos analisados, nesta abordagem verificam-se índices de elevada perigosidade em certos materiais (do grupo dos Metais, o cádmio, chumbo, mercúrio, arsénio, crómio (hexavalente) e o arsénio. Pelo grupo dos Minerais, o amianto), sujeitos a normas restritas. Alguns materiais apresentam níveis de toxicidade no material elementar e nos seus compostos. Outros ainda são inertes ou inócuos para o ser humano e meio ambiente. O simples facto de alguns materiais demonstrarem índices de toxicidade deveria de constituir motivo para deixarem de ser procurados, minerados ou mesmo utilizados em produtos de pequena ou grande escala. No entanto, a indispensabilidade do seu uso demonstram um efeito de materialização pelo facto de não existirem substitutos com características semelhantes, traduzindo-se numa necessidade premente. Houve alguma discrepância entre as diversas fontes, inclusivamente contraditórias que carecem de uma análise mais aprofundada.

A análise comparativa entre o período de 2000-2015 e o de 1960-2105, relativamente aos materiais sob o efeito da desmaterialização conclui-se que no período entre 1960-2015 existiam 14 elementos nesta condição passando para 44 entre 2010-2015, ou seja triplicou o número verificado anteriormente. Entrando uma diversidade assinalável de materiais (33) para esta condição no entanto de salientar que deixaram de ser predominantemente materiais com elevado grau de toxicidade. Um fator muito importante já que se traduz num elevado grau de desmaterialização. Mantiveram-se nos dois períodos em análise 11 elementos nestas circunstâncias entre os quais a destacar o amianto que relativamente às restrições impostas estas surtiram efeito, assim como o tálio e o arsénio. Por sua vez, as saídas são proporcionadas por 3 materiais e tendo a salientar um facto preocupante relativamente ao mercúrio que deixou de estar a desmaterializar passando um consumo de 3 270 t em 2015.

Relativamente à comparação entre o período de 2000-2015 e o de 1960-2105, relativamente aos materiais sob o efeito da materialização verificou-se que existiam 26 elementos nesta condição passando para 25 entre 2010-2015, ou seja menos um do que o verificado anteriormente. Entrando para o período 2010-2015 registam-se mais 15 elementos no entanto, anulados pelas saídas que apresentam o mesmo valor. De salientar a saída dos Plásticos do conjunto de materiais sob efeito de materialização interrompendo um período de 5 décadas consecutivas nessa categoria. Mantiveram-se 10 elementos na mesma condição no entanto as movimentações fornecem um panorama das matérias-primas com maior ou menor

relevo neste contexto. De salientar que os materiais que se encontram sob o efeito de materialização no primeiro segundo período (2010-2015) integram elementos fundamentais para esta nova tecnosfera funcionando como prenúncio do advir.

Por último verifica-se que as mais recentes inovações tecnológicas optam gradualmente por alguns materiais raros ou pouco abundantes precisamente porque estes incluem qualidades excecionais que não conseguem ser superadas por substitutos ou materiais mais convencionais.

Capítulo IV

O efeito do intangível sobre o processo de inovação

Introdução

O intangível aqui considerado como algo abstrato, imaterial, incorpóreo, não palpável, indicia ocupar uma componente preponderante nas inovações e produtos do nosso quotidiano. A desmaterialização não surge portanto numa conjuntura de negação do material, mas na introdução de novas alternativas e contextos. A componente intangível não se restringe exclusivamente à vertente tecnológica ocorrendo em toda a cadeia de valor, abarcando áreas como a investigação e o desenvolvimento, o *design*, o registo das patentes, o lucro, a comercialização, a distribuição, entre outras.

A inovação tecnológica continua a impulsionar o crescimento económico sob determinados padrões inimagináveis há um século atrás. A revolução industrial fomentou o aparecimento de um sistema musculado dando agora lugar a um sistema neural, no domínio do invisível (Arthur, 2011). A globalização da economia, antes baseada em territórios e fronteiras, transita para uma economia de redes, em que a matéria-prima e os fluxos deixam de ser predominantemente materiais.

Foram diversas as inovações que surgiram nas últimas décadas e que se difundiram de uma forma transversal por toda a sociedade dando corpo a empresas que passaram das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), baseadas em *hardware* para uma predominância intangível (*software*) transportando o seu ADN para outras áreas de atividade, inclusivamente para inovações mais tradicionais. As inovações, anteriormente moldadas pelo Homem por materiais consoante os seus atributos e necessidades, aparentam incorporar uma crescente componente intangível.

4.1. O Intangível como matéria-prima

As inovações tecnológicas e o mercado mudaram profundamente a estrutura produtiva mundial. Convertendo matérias-primas em peças e componentes, para as linhas de montagem cederem forma aos produtos que depois são distribuídos e comercializados globalmente por um número crescente de economias. As cadeias de valor tendencialmente complexas têm proporcionado uma diversidade de produtos mais acessíveis impulsionando a economia através das novas oportunidades traduzindo-se numa diminuição da pobreza e no bem-estar das populações. No entanto, a competitividade e os custos alteraram profundamente a estrutura produtiva desagregada e dispersa um pouco por todo o planeta numa complexa cadeia de fornecimento.

O resultado foi o crescimento do comércio internacional onde partes e componentes cruzam por diversas vezes as fronteiras com índices que duplicam os registados pelo PIB. A produção na cadeia de valor global do século XXI é caracterizada pela “curva de sorriso” proposta pelo diretor executivo da Acer que descreve o aumento da importância das fases pré e pós produção como elementos cada vez mais preponderantes no valor global dos produtos. O capital intangível quer sob a forma de tecnologia ou de habilidades tornam-se extremamente importantes em mercados competitivos como iremos abordar no capítulo seguinte.

A componente intangível nas inovações decomposta quer sob a forma de Investigação e Desenvolvimento (I&D), da tecnologia, do *design* ou do *marketing*, tem contribuído decisivamente para o crescimento da cadeia de valor como um todo. Representando uma componente fundamental e muito significativa do esforço exigido por pessoa para satisfazer uma determinada necessidade. Repercute-se decisivamente sobre as inovações bem-sucedidas que prosperam assim como das empresas e organizações que as detenham.

Os dados macroeconómicos sobre o valor do intangível acrescentado na cadeia de valor provêm essencialmente da contabilização individual da economias nacionais e estatísticas comerciais que não refletem o panorama como um todo. Além do mais essas informações não distinguem as áreas de atividade como é caso do setor automóvel que engloba a produção de peças, de componentes e respetiva montagem, no entanto exclui a extração e a produção de materiais a montante assim como a jusante a distribuição e a comercialização até ao consumidor final. Para baralhar pode crescer-se o facto de muitas das peças e componentes serem importados e as estatísticas comerciais oferecem informações sobre bens intermediários, não sendo classificados pela indústria respetiva.

Em 2015, Chen and Graedel (2014) utilizaram o termo “*stocks em uso*” um conceito que foi desenvolvido no campo da ecologia industrial. Pode ser definido relativamente a um produto fabricado tangível como a quantidade do produto em uso ativo ou para um material (como ferro ou cobre) ou como a quantidade do material contido em *stock* em uso de todos os produtos que utilizam esse material. Segundo os autores a evolução histórica nos EUA dos *stocks* relativa a 156 produtos ou grupos de produtos em termos absolutos, *per capita* ou por domicílio demonstra que a maioria dos mesmos atingiu ou estão a aproximar-se de um limite superior. Nos EUA, o investimento realizado pelas empresas em bens tangíveis e intangíveis entre os anos de 1948 e

o de 2007, foi quantificado por Corrado e Hulten (2010). Onde se verifica um aumento gradual do investimento em bens intangíveis superam os verificados pelos tangíveis entre o ano de 1995 e o de 2007. Posteriormente e no intuito de quantificar o valor do intangível agregado às cadeias de valor globais Chen e Graedel (2017), basearam-se em investigações anteriores sobre o fluxo de produtos por indústria e por países. Algumas estimativas como o relatório da WIPO (World Intellectual Property Organization) coordenado por Fink *et al.* (2015) apontavam para um aumento do valor do intangível para cerca de um terço do valor total da produção em 19 indústrias manufatureiras florescentes nos EUA em 2014. Chen e Graedel (2014) relacionaram e cruzaram posteriormente estatísticas entre a indústria e o comércio internacional para construir uma base de dados de entradas e saídas globais. Este trabalho engobou informações sobre 55 indústrias das quais 19 exclusivamente produtivas em 43 economias, representando mais de 85% do valor total da riqueza gerada a nível global.

A inovação tecnológica continua a impulsionar o crescimento económico sob determinados padrões inimagináveis há um século atrás. Contudo, em que medida estes desenvolvimentos se repercutem no futuro face a uma utilização aparentemente menos intensiva das matérias-primas, continua uma incógnita. Determinar a componente intangível neste contexto torna-se fulcral e um elemento imprescindível de toda a questão.

4.2. As Inovações, de como se apresentam para como se representam

Depois da massificação na produção das inovações físicas que atingiram o seu pico na década de 60 assistiu-se posterior e gradualmente à perda generalizada da importância relativa da indústria no crescimento da economia mundial. Em simultâneo, a crise do petróleo reavivou conceitos como a escassez provocada segundo diversos autores pela utilização intensiva de recursos naturais. Daí, resultam alertas dos ambientalistas para os efeitos negativos decorrentes desse mesmo metabolismo global. Curiosamente esse argumento já tinha sido identificado durante a Primeira Revolução Industrial, face a um aumento no consumo de madeira que alimentava as caldeiras das novas e emergentes indústrias da época. Por sua vez, os economistas estabeleceram limites no desenvolvimento decorrente da relação estabelecida entre o crescimento económico (PIB - Produto Interno Bruto) e o consumo de recursos naturais (supostamente cada vez mais escassos).

As mudanças verificadas na década de 80 muito se devem a um sistema financeiro que incentivava a deslocalização de fábricas, afetando diversas economias. A este facto não é alheio a financeirização da economia preconizada pelo dinheiro fiduciário³⁴ (1971), com o abandono do padrão ouro até aí vigente. Esta nova conjuntura proporcionou um conjunto de inovações no setor financeiro onde o dinheiro surge como algo cada vez mais intangível num ambiente digital de algoritmos. A especulação daí resultante criou buracos no ecossistema produtivo

³⁴ Moeda Fiduciária é qualquer título não-conversível, ou seja, não é lastreado a nenhum metal (ouro, prata) e não tem nenhum valor intrínseco.

repercutindo-se irremediavelmente na expansão de novas tecnologias ligadas ao setor produtivo. Este novo contexto foi previsto pelo filósofo francês Alain Touraine (1969) em *La Société Post-Industrielle*, desenvolvendo o conceito de sociedade pós industrial. Em 1973, Bell³⁵ introduziu a noção da sociedade de informação (*in “The Coming of Post Industrial Society: A Venture in Social Forecasting”*) onde o conhecimento segundo o autor será a estrutura central da nova economia. A revolução industrial fomentou o aparecimento de um sistema musculado dando agora lugar a um sistema neural, no domínio do invisível (Arthur, 2011). Anteriormente os produtos caracterizavam-se por serem moldados por materiais consoante os seus atributos e necessidades, dando lugar a inovações que são predominantemente digitais (intangíveis) valorizando-se mais em como se representam do que como se apresentam.

Na década de 90 com a difusão da *internet* e das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), o termo difundiu-se passando a ser utilizado a partir de 1995 por diversas organizações internacionais como o G7 (7 nações com economias mais desenvolvidas), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a Organização das Nações Unidas (ONU), o Banco Mundial (BM), a Organização Mundial do Comércio (OMC), o Fundo Monetário Internacional (FMI) e transversalmente por uma sociedade cada vez mais ligada e globalizada. Neste contexto outras designações surgiram como a da “Sociedade do conhecimento” adotada por diversos investigadores e pela Unesco supostamente sob o pretexto comum de pretenderem distanciar-se da componente económica e das inovações tecnológicas favorecendo para tal a dimensão social e cultural desse aspeto. Castells (2011) prefere utilizar o termo de “sociedade informacional”, segundo o qual caracteriza a revolução tecnológica atual não sendo o carácter central do conhecimento ou da informação em si mesmas mas a sua conversão em fontes fundamentais da produtividade derivada do aparecimento e difusão de novas tecnologias (não só como ferramentas mas como processos para o desenvolvimento).

A globalização da economia, antes baseada em territórios e fronteiras, transita para uma economia de redes, em que a matéria-prima e os fluxos deixam de ser predominantemente materiais. A desmaterialização não surge portanto numa conjuntura de negação do material, mas na introdução de novas alternativas e contextos.

Em paralelo assiste-se a uma crescente massificação das inovações digitais (intangíveis) com grande impacto social mas que aparentemente e segundo diversos economistas não impulsionaram o crescimento da economia como esperado.

A complexa economia mundial no século XXI tem sido sustentada em grande medida pelo crescimento em nítido abrandamento dos países emergentes, em detrimento de resultados negativos ou residuais apresentados pelas economias mais desenvolvidas. Mesmo recorrendo ao crédito (Graeber, 2011) o qual mais que triplicou a nível mundial. Diversos economistas alertam para como a dívida global se alterou desde a crise financeira (Skidelsky, 2014; Coppola, 2015; Bird, 2015) e formulam diversas recomendações sobre os anormais níveis de endividamento.

³⁵ Daniell Bell (1919- 2011), Sociólogo e Professor da Universidade de Harvard, descrito como sendo um dos líderes intelectuais da América da era pós-guerra.

Alguns economistas referem que a estagnação da economia é o “novo normal”. Estes sintomas são designados por Summers (2013) abordando o artigo de Alvin Hansen³⁶ (1938) sobre a Grande Depressão de década de 30, como a “estagnação secular³⁷”. Esta visão algo pessimista tem proporcionado muitas discussões sobre as consequências da estagnação verificada em algumas economias, no entanto as suas causas geram ainda maiores desacordos.

Tendências demográficas desfavoráveis conjugam-se com o gradual envelhecimento da população, resultado do aumento da esperança média de vida. Perpetuam-se hábitos que se refletem nas práticas de consumo, traduzindo-se numa maior resistência ao “novo” – fatores talvez insuficientes para justificar toda a conjuntura vigente. Para Ford (2009), o consumo é de longe o melhor indicador económico de quem somos. Onde as decisões diárias de consumo amplificam o mecanismo de mercado numa força que cria e destrói indústrias inteiras.

Aparentemente o consumo não pode ser dissociado dos índices de produtividade global como uma das maiores ameaças à melhoria dos padrões de vida. Segundo Giles e Fleming (2015) nos EUA entre o ano de 1920 e de 1970 a produtividade registou um crescimento médio de 2,82% já entre os anos 1970 a 2014 cresceu apenas 1,62%. Supostamente as TIC, não conduzem necessariamente a um aumento da produtividade (Hartmann, 2015; Rauner, 2016).

Gordon (2016) argumenta que o decorrer dos últimos dois séculos foram férteis em grandes invenções, resultando em inovações com um impacto irrepetível. Devezas (2005) já tinha observado que existe uma crescente preocupação questionando se estaremos a enfrentar um período onde se verifica uma carência de inovações ou uma “estagnação de inovações”.

Outros autores como Cowen (2011) e Teulings *et al.* (2014) corroboram a possibilidade de que os avanços tecnológicos registados após 1970 terem sido muito ténues, ao invés do registado anteriormente com o aparecimento de diversas inovações com maior impacto social. Krugman (2015) refere que “...é sobre a mudança tecnológica radical e uma força de trabalho que não tem habilidades para lidar com a nova era digital, que abrange mais de quatro décadas parecendo uma grande decepção”, apelidando-a de “*The Big Meh*”, sob o espectro de que as novas inovações são mais divertidas do que fundamentais (excetuando a *internet*). Esta última, definida por Devezas (2005) como uma “inovação de base” em fase de consolidação que ao invés das “inovações incrementais³⁸” dão origem a novas indústrias assim como uma vasta gama de atividades humanas, com grande impacto quer na dimensão socioeconómica quer na cultural.

³⁶ Alvin Hansen (1887- 1975). Teórico, economista, conselheiro político e professor, influente no redirecionamento da política macroeconómica dos EUA, entre 1935 e 1965.

³⁷ “Estagnação secular” é um fenómeno descrito em 1938 pelo economista norte-americano Alvin Hansen, que se baseou na Lei da Tendência de Queda da Taxa de Lucro de Karl Marx (Hans-Werner, 2016). Refere-se a uma situação em que o PIB (produto per capita) não mantém um nível de crescimento compatível com o potencial económico de um país, durante um longo período de tempo.

³⁸ Inovação incremental é aquela em que o novo produto incorpora alguns novos elementos em relação ao anterior, sem que, no entanto, sejam alteradas as funções básicas do produto. Em 1939, no livro *Business Cycles* (1939), Schumpeter diferencia os conceitos de inovação incremental e radical para explicar como as tecnologias revolucionárias criam ondas de “destruição criativa”. A inovação incremental é a forma mais simples de garantir que um produto ou serviço desperte o interesse dos consumidores, continuando compatível com outras tecnologias e à frente da concorrência.

“*Nós somos seres eminentemente sociais assim como as bactérias, a sociabilidade é um fator fundamental*” (Damásio, 2009). As habilidades sociais não são expressas em resultados académicos, tal como nas engenharias ou na matemática. É curioso verificar que para Deming (2015) a crescente importância das habilidades de interação social permitem o aparecimento de empregos com salários mais elevados no mercado de trabalho derivado à complexidade na automatização dos processos. Proporcionando inclusivamente um crescimento dos rendimentos *per capita* em cerca de 20% (Gennaioli *et al.* 2014). Devezas (2009) também observa que as inovações de base correspondem quase sempre a antigos anseios da humanidade: comunicações a grandes distâncias, instantâneas recorrendo a som e imagem, fácil e rápida locomoção individual, entre outros.

O Presidente executivo do Fórum Económico Mundial, Klaus Schwab (Rifkin, 2016) evidencia por sua vez que o que caracteriza esta última década tem sido a velocidade e amplitude do impacto das novas inovações. É de salientar que diversas inovações que surgiram nas últimas décadas e que se difundiram de uma forma transversal por toda a sociedade dando corpo a empresas como a Google, o YouTube, o Skype, a Wikipedia ou o Facebook, se caracterizam por fornecerem serviços partilhados e até gratuitos. Entre outras são milhares de empresas e organizações que conseguem sobreviver e progredir, aparentemente e em exclusivo de donativos - não estando contabilizados no PIB. Brynjolfson and McAfee (2015) invocam que o conceito tradicional utilizado para quantificar o PIB, subestima e exclui muito desse progresso.

A ascensão de conceitos como “*Freeconomics*” ou “*Freemium*”³⁹ segundo Anderson (2008) é impulsionada pelas tecnologias subjacentes que alimentam a *Web* que representam a extensão do modelo de negócio dos média e refere que o ecossistema das empresas do sector cresce em torno de um mesmo conjunto de modelos. Atualmente o fornecimento de informações recolhidas sobre os padrões de consumo assim como de consultas efetuadas pelos utilizadores é supostamente o que tem proporcionado avultadas receitas a estas novas empresas de índole predominantemente tecnológico. Assim como a disponibilização de serviços ou conteúdos *Premium* que permitem pequenos lucros por operação numa economia de escala globalizada.

Recordando as inúmeras empresas que no início do século disponibilizavam serviços de correio eletrónico e limitavam a quantidade de dados com intuito de cobrar assinaturas, recordam-se? Pois, foram substituídas por outras como o Gmail, que ao invés de limitar a informação, a aumentava diariamente e gratuitamente, acabando por captar milhões de utilizadores conferindo-lhe uma dimensão inesperada a nível global.

Outras perspetivas como as de Brynjolfsson e McAfee (2014) apontam para que os avanços registados no campo da tecnologia digital e respetivas aplicações para automação provocaram profundas alterações na implementação da robótica industrial, incluindo os serviços, poderem explicar o lento crescimento do emprego registado nos últimos anos com consequências

³⁹ Resulta da combinação de dois aspetos do modelo de negócio: “*free*” e “*premium*”.

inevitáveis no mercado de consumo. Segundo um estudo de *Frey and Osborne* (2013), as estimativas aventam que cerca de 47% do total dos empregos nos EUA estão em alto risco de substituição. A nível mundial, Pélissié du Rausas *et al.* (2011) num estudo da McKinsey & Company, estimaram que metades das atividades existentes atualmente podem ser automatizadas até ao ano de 2055. No entanto, daqui ressalta uma pergunta: Quando os automóveis com motor a combustão substituíram as carroças movidas por cavalos, ou as telefonistas foram substituídas pelas marcações diretas, o emprego acabou? As revoluções industriais anteriores terminaram com inúmeras atividades relegando-as ao esquecimento no entanto, outras novas surgiram.

Embora a procura pela utilização de novas tecnologias possa ser responsável pela extinção de muitos empregos não é descabido mencionar que por outro lado libertam pessoas de trabalhos obsoletos e repetitivos. A abordagem do emprego muito enraizado no modelo de industrialização do século passado ignora muitas vezes um ponto fundamental sobre como as inovações digitais estão moldando o trabalho do século XXI. Novos modelos de negócio como o da Airbnb, da Uber, ou da TaskRabbit entre milhares de outras empresas reformulam a premissa perante o mercado de trabalho integrando-se como subcontratantes e intermediários digitais. Pélissié du Rausas *et al.* (2011) estimaram que a *internet* foi responsável por 21% do crescimento do PIB nos últimos 5 anos entre os países analisados e uma contribuição média de 10% ao longo dos 15 anos anteriores. Onde o volume de negócios via *internet* supera sectores mais tradicionais como a agricultura ou da energia, contribuindo em média 3,4% para o PIB. A taxa de progressão é ainda uma miragem tendo em consideração que as infraestruturas digitais disponíveis têm delimitado o seu próprio crescimento. Em 1996, só 1% da população mundial estava ligada em rede, em 2006 esse valor atingiu os 17,6% e atualmente já atinge cerca de 46% dos 7 400 milhões de habitantes (Internet World Stats News, 2017).

4.3. O intangível como recurso

A utilização de conhecimentos no desenvolvimento de tecnologias visa melhorar as características e o seu desempenho na obtenção de produtos ou soluções que permitam ampliar as vantagens, repercutindo-se num aumento dos padrões de vida. O efeito das tecnologias mais tradicionais aparenta ser insuficiente face ao impacto desejado na utilização sustentável dos recursos do planeta. No entanto, combinam-se para transformar a equação da oferta e da procura nas matérias-primas. Os veículos autónomos, a nova geração de baterias, os *drones*, os *leds* e os sensores podem realizar a manutenção preditiva, a conectividade da *Internet* das Coisas (IoT), o aumento da automação e a crescente utilização e análise de dados em todo o mundo com implicações significativas para o futuro dos recursos. Simultaneamente os países estão a implementar gradualmente políticas para a denominada economia circular (European Commission, 2015) que quando conjugadas e orientadas com os serviços exigem tendencialmente um menor esforço e intensidade sobre os materiais.

“Atualmente observa-se um período caracterizado pela transformação da nossa cultura material, à semelhança do verificado na Revolução Industrial, induzido por um padrão

de descontinuidade na importância dos materiais como base na economia e na sociedade” afirmaram Fisher-Kowalski *et al.* (UNEP, 2011). As tecnologias de informação e comunicação, por outro lado, são o núcleo da capacidade em gerar novos códigos, traduzindo-se num instrumento de poder e de prosperidade das sociedades (ASC/USC, 2007).

As TIC estão a provocar profundas mudanças na esfera económica, política e social. A formação deste poderoso *cluster* de inovações capazes de penetrar amplamente, por via direta ou indireta em todos os setores da economia, configura a criação de um novo paradigma tecnológico, no mais puro sentido neo-Schumpeteriano”, como argumentou Coutinho, (1992). Nos últimos anos a digitalização permitiu uma convergência entre a comunicação, as plataformas e a produção de conteúdos. Tendo como origem as redes com fios, expandindo-se para os sistemas telefónicos fixos, para a radiotelefonia, entre outros, traduzindo-se numa melhoria significativa dos serviços. A esse facto não é alheio o posterior aparecimento e o crescimento vertiginoso da capacidade de transporte da informação em banda larga através de redes de fibra ótica. A ampliação das tecnologias sem fios (*wireless*) estão na base da difusão registada nas comunicações móveis, quer para o transporte de voz e textos, assim como para as imagens com vídeos e televisão, entre outros.

Um dos trabalhos pioneiros no intuito de quantificar a informação gerada pela sociedade através das tecnologias de informação e comunicação (TIC) veio do Japão (Ito, 1981), servindo de base para estimativas das tendências de crescimento da quantidade média de palavras veiculadas pelos 17 órgãos de informação e comunicação mais preponderantes nos EUA entre 1960 e 1977 (Pool, 1983). Este estudo foi aparentemente o primeiro a demonstrar empiricamente a diminuição da relevância da informação veiculada através dos meios impressos comparativamente aos eletrónicos. Entre o ano de 2000 e o de 2003 um grupo de investigadores da Universidade da Califórnia em Berkley retomou o desafio da quantificação (Lyman e Varian, 2003). O foco deste trabalho assentava essencialmente em novas informações veiculadas. Resultando na conclusão que a maioria desse volume de conteúdos exclusivos advinha essencialmente do tráfego do telefone (97%), ao invés dos meios televisivos que transmitiam a maioria das informações em duplicado, manifestando uma importância relativamente baixa neste contexto. Outras abordagens entre 2007 e 2008, incluem estimativas na capacidade global de armazenamento disponibilizado através do *hardware* dos equipamentos tecnológicos de informação e comunicação (TIC). Segundo um trabalho de J. Gantz *et al.* (2008) reatualizado em 2011 estimou que todo o espaço disponibilizado ou utilizável no mercado através de *drives*, de fitas magnéticas, de CDs, de DVDs e memórias quer volátil ou não, era de cerca de 264 *exabytes*. Nesse mesmo período a indústria em colaboração com o meio académico focados explicitamente no tempo de interação despendido pelos utilizadores por tipo de dispositivo concluíram através desta metodologia que os jogos e os filmes exibidos através do computador representavam 99,2% da quantidade total de dados consumidos (Bohn e Short, 2009).

O fluxo de comunicações não tem parado de crescer, no entanto o formato analógico sucumbe ao digital como se pode verificar no *gráfico 48 (na página seguinte)*.

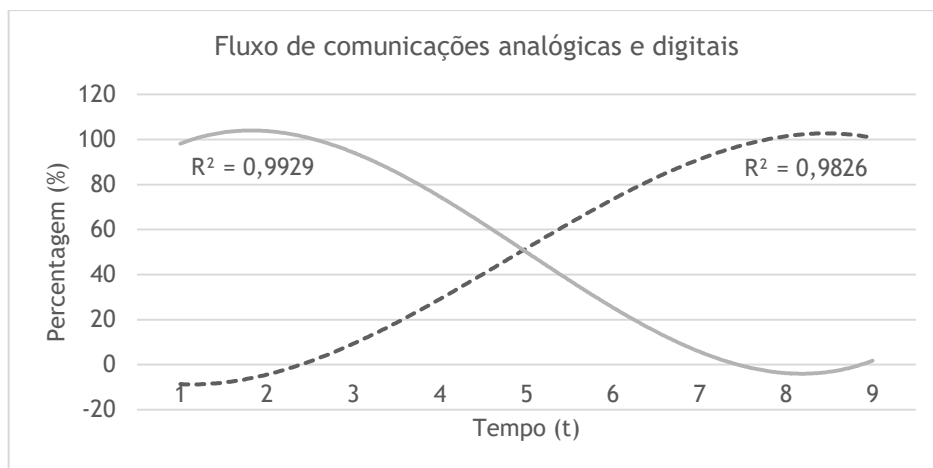


Gráfico 48. Comparativo percentual na evolução da capacidade tecnológica de comunicar em formato analógico (linha cinza contínua) e digital (a tracejado) a nível global entre os anos de 1985-2015.

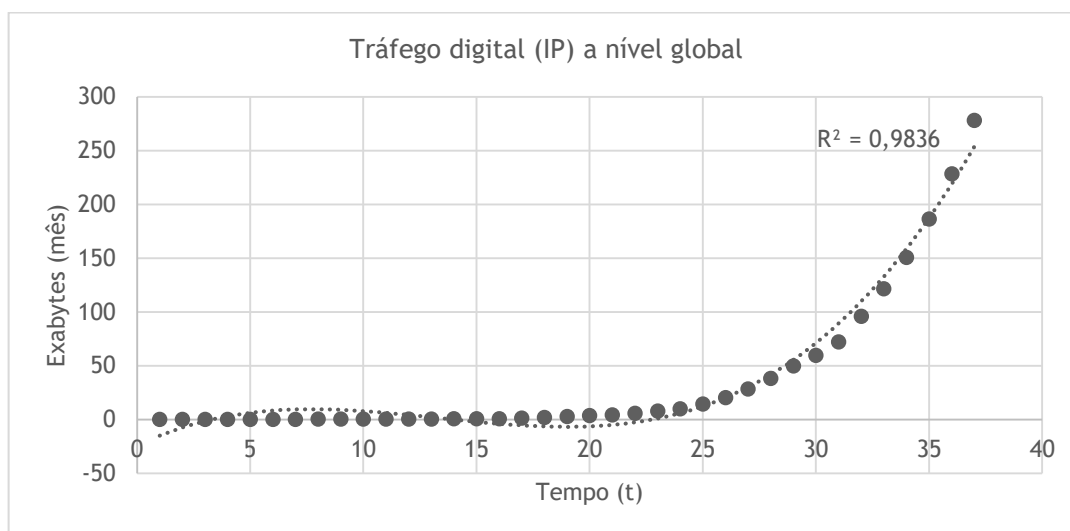
A evolução do raio da curva do analógico (linha contínua) apresenta valores muito similares aos registados pelo digital (a tracejado), no entanto em sentido contrário. O ponto de interceção, ou seja onde os valores se igualam situa-se sensivelmente a meio do gráfico (1985-2015), correspondendo aproximadamente ao virar do novo milénio.

Um conjunto de investigadores, liderado por Hilbert e Lopez (2011) estimaram que a capacidade tecnológica a nível mundial de armazenar informação, de comunicar e de calcular não tem parado de crescer. Para tal analisaram comparativamente 60 tecnologias analógicas e digitais entre o ano de 1986 e o de 2007 (atualizado em 2014). Verificaram que a capacidade computacional cresceu a uma taxa anual de 58%, em termos de comunicações bidirecionais em 28%, seguido de muito perto pelo armazenamento de informação com 23%. As telecomunicações por sua vez têm sido dominadas por tecnologias digitais desde o novo milénio, atingindo os 99,9% em 2007. Relativamente à componente de memória atinge a supremacia sensivelmente no mesmo período, atingindo os 94% no ano de 2007.

A emergência de uma sociedade em rede proporcionou mudanças significativas na forma como produzimos, distribuímos e consumimos informação. Uma dessas alterações corresponde à mudança fundamental do sistema de codificação da informação, que passou de predominantemente analógico para o digital (Moreno, 2013).

Este crescimento não é imune a uma rápida taxa de adoção à infraestrutura digital, cinco vezes mais rápida do que o verificado pela eletricidade e pela telefonia (Cisco, 2017b). A descoberta e a utilização da eletricidade em sistemas de iluminação nos motores e nas comunicações originaram uma procura por materiais que permitissem distribuí-la de forma eficiente e segura por longas distâncias. A utilização da técnica do arame viabilizou a produção de longos filamentos de cobre que, face às suas características de condutividade assim como de resistência à corrosão, o transformaram, no material de eleição nas redes elétricas e de telecomunicações no século XX. A rede de telefones nos EUA no final desse período ascendia a mais de 65 milhões de toneladas métricas de fio de cobre (Edelstein, 2001). Numa fase inicial

as redes de telecomunicações, tradicionalmente organizadas em torno da voz, tinham como objetivo interligar-se, maximizando as áreas de cobertura geográficas através de acordos de conexão entre países e continentes, numa multiplicidade de operadores em que a tecnologia dominante era o *circuit-switching*⁴⁰. Neste contexto surgiram novas áreas de negócio que desenvolveram estratégias diferenciadas como o caso das empresas Cable&Wireless e World.com, baseadas na tecnologia de *packet-switching*⁴¹ que apostaram numa nova rede com capacidades muito superiores às existentes que incluíam a opção de transportar dados, imagem, áudio, vídeo, entre outros.



Fonte: Cisco/Stanford/Hilbert Martin (<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf> ; http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/abdul-kafi1/docs/white_paper_c11-481360.pdf)

Gráfico 49. Evolução no crescimento de tráfego IP global entre o ano de 1985 e o de 2017 com previsões até 2020.

A mudança da tecnologia do fio de cobre para a fibra ótica permitiu reduzir substancialmente a quantidade de material utilizado, aumentando em simultâneo a quantidade de informação que por ele circula. Implementou-se criação de redes e de infraestruturas integrais de acesso fixo mas também via satélite e por cabos subterrâneos de fibra ótica a nível continental e intercontinental. A transição para novas tecnologias sem fios (*wireless*⁴²) nas telecomunicações têm-se intensificado e a sua difusão pode transformar as redes existentes obsoletas de fios de cobre. A tecnologia sem cabos permitiu inclusivamente a países que não dispunham ainda dessas infraestruturas de telecomunicações concluídas, nomeadamente os países em desenvolvimento e os BRIC⁴³, transferir-se diretamente para tecnologias mais recentes sem ter de recorrer ao tradicional cobre. Segundo as Nações Unidas, em África (United Nations, 2008) a partir de 2006 registaram-se cerca de 200 milhões de assinantes de telemóveis

⁴⁰ Tipo de tecnologia vocacionada para as comunicações vocais.

⁴¹ Tecnologia utilizada na comunicação digital, por rede que agrupa todos os dados transmitidos, independentemente de tipo, conteúdo, estrutura denominado de “pacote.”

⁴² Equivale à rede sem fios.

⁴³ Países emergentes (Brasil, Rússia, Índia e China).

que representavam cerca de 22% da população, em comparação com 3% de linhas fixas (United Nations, 2008). Esta perspetiva evidencia uma abordagem *desmaterializante*, uma vez que estes países não necessitam de seguir o mesmo modelo de crescimento tecnológico registado historicamente pelos países e economias mais desenvolvidas.

O mundo atravessa um período de crescimento exponencial da informação disponibilizada transversalmente por toda a sociedade, inclusivamente através das redes sociais. São inúmeros os aspetos que contribuem para este novo contexto, embora indissociáveis podendo ser impulsionados e quantificados quer pelo volume na vertente dos conteúdos (informação) assim como nos dispositivos (fixos ou móveis) existentes (Vaz, 2012). É recorrente utilizar a expressão de Shenk (1997) de que a informação contida numa única edição do jornal “The New York Times” é superior ao do que um inglês médio no início do século XVII teria acesso em toda a sua vida. Bem, para dar uma ideia da dimensão e proporção de tais valores e respetivo impacto caso as inovações tecnológicas fossem imutáveis e sem ter de recorrer ao séc. XVII, bastaria recuar somente cerca de 10 anos. Segundo Hilbert e Priscila (2011) a quantidade total de informações em 2007 se fosse armazenada de forma otimizada ocuparia uma média de 61 CD-ROM/por pessoa (com 730 megabytes, convencionais à época). Apelando posteriormente à imaginação dos leitores para o número gigantesco que representaria a nível global, ou seja, formaria uma pilha de 404 mil milhões de unidades que sobrepostas (com 1,2 mm de espessura) dariam para ultrapassar largamente a órbita lunar. No entanto, entre o ano de 2007 e de 2018 (onze anos volvidos), segundo a Cisco (2017a) o tráfego digital a nível global nesse mesmo período correspondia somente a 5,3% do existente atualmente no ano de 2018 (gráfico 49, pág. 222). Sendo multiplicado por um fator em cerca de 19X (vezes), o que significa nessas circunstâncias em termos proporcionais que atualmente seria possível formar cerca de 23 pilhas de CD-ROM da terra à lua, ao invés de pouco mais de uma registada em 2007.

As migrações de conteúdos para inovações tecnológicas são relativamente comuns e são diversos os exemplos possíveis, como o setor discográfico baseado inicialmente no vinil dando lugar ao CD (*compact disc*) e que aparentemente abandona inclusivamente o suporte físico podendo ser acedidos por um *tablet*, um *smartphone*, um *ipod*, um portátil, entre outros. “O acesso aos serviços digitais pode expandir todo o mercado” afirmou Piibe⁴⁴. A BPI - British Phonographic Industry, afirmou que as vendas digitais já superam as de formatos físicos desde os primeiros meses de 2012, perfazendo a grande maioria do mercado atual, compensando a queda nas vendas de CDs e do vinil. Em termos de crescimento, o digital aumentou 23,6%, por sua vez o mercado das inovações físicas teve uma quebra de 15,1% (BBC News, 2012). Onde se verificou o maior crescimento nem foi tanto na compra de músicas digitais, mas sim nas subscrições de serviços musicais via *streaming*⁴⁵ que duplicaram em apenas 1 ano.

Os consumidores preferem cada vez mais aceder aos conteúdos *online* de sua escolha, às horas mais convenientes no dispositivo preferido, de acordo com o estudo do NPD - Display

⁴⁴ Mark Piibe, vice presidente executivo da EMI Music.

⁴⁵ A tecnologia *streaming* baseia-se na emissão de conteúdos em tempo real através de aplicações e da internet.

Search Connected TV. Este novo ambiente tem proporcionado inclusivamente às rádios locais uma nova perspetiva transmitindo informações para todo o mundo, sem estar na dependência da atribuição de licenças e autorizações de transmissão limitadas pelo alcance das frequências disponíveis. Geralmente, emitiam em AM⁴⁶, confinada a uma banda que vai de 535 a 1 700 *kilohertz* e FM⁴⁷ que transmite numa banda de frequência entre os 88 e 108 *megahertz*. A Noruega foi o primeiro país do mundo a desligar a rádio através desta tecnologia e outros se perfilam. De acordo com o Ministério da Cultura Norueguês a digitalização das estações de rádio proporcionará uma diminuição dos custos associados em cerca de 24 milhões de euros anuais, traduzindo-se simultaneamente para os ouvintes num aumento da diversidade e pluralidade de conteúdos com melhor qualidade de receção, além das novas funcionalidades oferecidas.

A imprensa como notícia, em consequência de se assistir a uma diminuição muito substancial de títulos e publicações existentes como é o caso do jornal mais antigo do mundo “Lloyds List”, fundado em 1734 e que se despediu em 2013 do formato papel para se exprimir em formato exclusivamente digital. Segundo eles, após cerca de 270 anos o objetivo não se alterou, mas a tecnologia sim. São muitos os casos e dispersos um pouco por todo o mundo como o “Newsweek”, ou o “The Independent” (2016). Não muito diferente do que se tem verificado em Portugal com o jornal o “Diário de Lisboa”, com o jornal “I”, ou com o “Sol” e mais recentemente com o “Diário Económico” (Negócios, 2016) que se despede com um “Obrigado” como destaque na última edição. A evolução da circulação impressa paga em território nacional é bem explícita dando conta dos saudosos mas não muito longínquos anos de 2008 com cerca de 820 mil exemplares vendidos, passando para menos de 460 mil registados em 2016 ou seja uma redução em cerca de 45% em apenas 8 anos (Cardoso *et al.*, 2017). As receitas publicitárias são outra das preocupações que adensam o problema tanto a nível nacional como a nível global (Riess, 2011).

Não se pense que se verifica somente uma redução dos títulos de publicações existentes mas essencialmente e com maior pendor para o número de exemplares impressos que apresentam descidas ainda mais acentuadas (Vaz, 2012). Diversos investigadores afirmam que é inevitável o desaparecimento dos jornais impressos nos próximos anos, no entanto a reestruturação de inúmeros títulos na forma como divulgam a informação apenas sugerem uma mudança dos suportes convencionais para os digitais. Hilbert e Priscilla (2011) constataram uma diminuição abrupta da informação armazenada em papel entre o ano de 1986 e o de 2007 dos 0,33% para os 0,007%, entre os diversos suportes analisados. A INCM- Imprensa Nacional Casa da Moeda é um dos inúmeros casos, sediada num edifício em Lisboa que ocupa quase um quarteirão inteiro. Neste espaço, eram impressas diariamente as cerca de 3 milhões de páginas de papel que difundiam, todos os dias, as leis que regiam e continuam a reger as nossas vidas. Agora o DR - Diário da República, deixou de se apresentar em suporte físico (papel) para se transpor para o universo digital através do computador e da *internet*. Numa dimensão

⁴⁶ Transmissão através do rádio utilizando Modulação em Amplitude.

⁴⁷ Transmissão de informações utilizando Modulação em Frequência.

desmaterializante, o papel praticamente acabou e com “ele” toneladas de chumbo que compunham os caracteres de metal (espólio da INCM) com que se imprimiam as letras no jornal. Atualmente esta secção fica confinada a duas salas, onde se encontra o computador e o *software* informático onde se paginava o jornal. É, pois, na subordinação total às leis da informática, que hoje se publica o DR, cujas origens remontam a 1715. Estes dados corroboram e adensam esta tendência abordada no capítulo 1 (*tabela 6, pág. 26*) sobre o consumo de papel de imprensa por décadas onde se regista uma redução absoluta em mais de 16% até ao ano 2010, reforçado posteriormente até 2015 com -25%. Por outro lado, segundo a World Association of Newspapers and New Publishers, a percentagem de consultas regulares ou diárias aos jornais através da internet não tem parado de crescer apontando que é um hábito que se tornou comum para mais de metade de todos os utilizadores mundiais através destas novas tecnologias (WAN-IFRA, 2017). Destruição criativa, chamou-lhe Schumpeter.

O mercado editorial de livros à semelhança do registado pelo da imprensa sofre as consequências de uma mudança tecnológica. A Enciclopédia mais antiga, a Britânica, encerra um período de 244 anos e passa a existir apenas na *internet* em formato digital. A última edição de 2010, composta por 32 volumes e um peso de 58,5 quilogramas será a última a cobrir as prateleiras das estantes dos aficionados e nostálgicos leitores. A Wikipedia, segundo os administradores foi a principal responsável entre diversas outras concorrentes que disputam os conteúdos em fontes *online*. Um novo ecossistema surge e reforça o poder das ideias e das palavras dispensando gradualmente um suporte físico e de papel convertendo-se gradualmente a um ambiente intangível e desmaterializado. Em contrapartida, existem iniciativas recorrentes um pouco por todo o globo preconizadas por diversas organizações e entidades como o caso da BNE - Biblioteca Nacional de Espanha, num projeto que culminou com a digitalização de 75 mil obras e manuscritos para consulta pública, disponibilizados através no seu *site* (BNE, 2012).

Como consequência e para adensar o problema os livreiros tradicionais segundo Pereira (2012) caminham para uma dimensão de “culto”. Além da substituição tecnológica com o aparecimento dos livros digitais (e-books), para agudizar a questão temos o problema da concorrência sofrida pelas vendas *online* condenando milhares de livrarias e distribuidoras tradicionais. Novas plataformas como a Amazon, a Taobao ou a Alibaba entre outras, ocupam um lugar de destaque neste contexto apresentando uma diversidade de produtos incomparavelmente superior aos possíveis, para expor ou promover em espaços com as limitações físicas inerentes.

Recordo trabalhos do ensino secundário onde recorria necessariamente a apontamentos e a livros da biblioteca geralmente munida de uma ou duas publicações (no máximo) sobre o tema. Transcrevia manualmente para um suporte de papel os apontamentos que cuidadosamente dactilografava numa máquina de escrever para minimizar possíveis gralhas ou erros, que me obrigariam a reiniciar o processo até obter resultado pretendido. Este processo praticamente caiu em desuso comparativamente com o que sucede atualmente. A irreversibilidade do erro deu lugar a um processo dinâmico e gradual finalizado após impressão

do documento ou de uma forma desmaterializada enviando-o simplesmente em formato digital. Este novo contexto exige forçosamente outras habilidades mais focadas na capacidade de selecionar a informação ao invés do acesso e da memorização como se verificava no passado.

O correio postal não foi poupado a estas transformações, as cartas em papel (com envelope, com selo e carimbo) transitam para os *e-mails* em formato digital, reflexo de uma desmaterialização acentuada consequência em certa medida por imposições de mobilidade e rapidez de acesso (Vaz, 2012) em que a componente física que lhes dá volume tendencialmente diminui ou inclusivamente desaparece.

Para comunicar a longas distâncias o homem implementou o serviço postal, com origem aproximada no ano 2 000 a.C. Os denominados mensageiros percorriam quilómetros a pé e mais tarde a cavalo, de maneira a assegurar as ligações e a informação entre os povos. Segundo Thompson (2002) *“entre os séculos XV e XVII as redes de comunicação sofreram dois desenvolvimentos marcantes: os serviços postais, a nível geral e o uso da imprensa na produção e disseminação de informação.”* A correspondência em suporte de papel embalado num envelope e taxado com uma pequena alusão gráfica impressa que era colada posteriormente, designada por selo de correio, validada após o carimbo, seria o condimento material necessário para transportar uma mensagem.

A diminuição de estações e postos dos correios que se têm verificado um pouco por todo o mundo (Vaz, 2012) é bastante exemplificativo na mudança de práticas estabelecidas.

Atualmente a digitalização no campo das comunicações veio complementar o serviço postal existente, contudo verificam-se algumas alterações profundas no setor. O aparecimento do correio eletrónico proporcionou um grande incremento na utilização de mensagens escritas e é reconhecido como uma das aplicações mais famosas. A primeira mensagem através de correio eletrónico foi enviada no ano de 1971 generalizando-se progressivamente, tornando este conceito bastante difundido a nível global. Estas novas tecnologias de comunicação permitem a troca rápida, por vezes imediata, de mensagens entre utilizadores nos mais distantes lugares do planeta. O correio eletrónico também é uma ferramenta que facilita o contacto, como afirmou Barbosa, (2002). Segundo o relatório, *“Email Statistics Report 2011-2015”*, Radicati (2011), *“o número de contas de e-mail em todo o mundo deverá aumentar (...) para 4,1 mil milhões no final do ano de 2015”*. Isso representa uma taxa média de crescimento anual de 7% nos próximos quatro anos. No entanto, esse valor foi atingido em 2014 e largamente superado no início de 2018 com as 5,24 mil milhões de contas, prevendo-se que em 2019 esse valor exceda os 5,59 mil milhões (Statista, 2018).

Os suportes para armazenar informação sofreram profundas transformações nas últimas décadas. Podendo ser acedidos por inúmeros dispositivos e inovações existentes que diversificam e compõem esta nova realidade dando corpo a este crescente fluxo de informações. Em 1986 as fitas de videocassetes (VHS e Beta) tinham um lugar de destaque ocupando o primeiro lugar em bytes armazenados com 54%, os discos vinil ocupavam a 2^a

posição com 14%, seguido pelas cassetes de áudio (12%) e pelas fotografias impressas em papel (Hilbert e Lopez, 2011). No início do novo milénio o panorama mudou radicalmente e os meios analógicos foram suplantados pelos digitais, atingindo em 2007 cerca de 94% da capacidade global em armazenar informação. A esta ascensão não é imune o aparecimento de novas infraestruturas tecnológicas como a da banda larga, alavancadas pela *internet* assim como pelas redes para telemóveis (onde o tráfego de dados supera o da voz) proporcionando um aumento de 29 vezes entre o ano de 1986 e o de 2007. Segundo os autores, embora estes números pareçam enormes, no entanto a quantidade de cálculos que todos os computadores existentes no mundo podem realizar ainda estão somente ao nível dos impulsos nervosos executados pelo cérebro humano num segundo. Enquanto toda a informação acumulada ainda é menor (em 2007) do que a codificada no ADN de um ser humano adulto.

4.4. Crescimento da IoT

A tecnologia desenvolve-se segundo um processo evolutivo e contínuo de descoberta da técnica permitindo despoletar o conhecimento acumulado aplicado a casos práticos que permitem suprir necessidades no desenvolvimento da comunidade. As sociedades tradicionais têm dependido da descoberta de novos materiais para melhorarem os seus produtos e consequentemente os padrões de vida. Segundo Castells (2011) *“é claro que a tecnologia não determina a sociedade. Nem a sociedade escreve o curso da transformação tecnológica, uma vez que muitos fatores, inclusive criatividade e iniciativa empreendedora, intervêm no processo de descoberta científica, inovação tecnológica e aplicações sociais, de forma que o resultado final dependa de um complexo padrão interativo.”*

A invenção é um processo que faz parte do conhecimento, no entanto não cria valor, situando-se na esfera da idealização ou no campo projetual, nunca chega a ser comercializada podendo estar descontextualizada no tempo ou na aplicação a que se destina. *“Não existe um pensável abrangente que tenha apenas de ser encaixado na fronteira do possível, porque a própria consciência destes limites restringe o que pode ser pensado,”* como escreveu Manzini (1993). *“(…) O pensável e o possível pode produzir o novo, pode afastar-se do existente e até negá-lo. Não pode, no entanto prescindir do que existe: o existente é o núcleo no qual se forma o pensamento criativo e onde este vai buscar o estímulo.”* A invenção é um processo mental em que se associam ideias.

Moles (1998), argumenta que foi *“através da invenção, ao desenvolvimento de novos objetos industriais que a vida do homem se viu modificada na sua estrutura pelo contacto com um novo mundo racional”*. Implica originalidade, mas também o equívoco, porque se associam elementos nunca antes conjugados ou associados. *“Tal como na evolução biológica, o novo nasce de um erro de transição do código genético, ou seja, de um erro de informação. Também no ponto de partida da invenção existe uma utilização errónea da informação, uma inadequada associação mental do que era conhecido e aceite até ao momento”*, afirmou Manzini (1993). A inovação é a emergência de um novo *design* adaptativo, resultando da

exploração bem-sucedida de novas ideias, assim a inovação não é a ideia em si mesmo mas sim o uso que se faz dela (Devezas, 2009).

O processo tecnológico é complexo, interativo e depende das necessidades ou oportunidades do mercado. É necessário conjugar os conhecimentos alcançados com o avanço da investigação científica, adicionando ao engenho técnico a capacidade de inventar, que depois de testada e validada pelo mercado, gera a inovação. Como defendia Jones (1999), *“O desenvolvimento de novas tecnologias é o motor do crescimento económico”*. Quando as tecnologias se disponibilizam sob a forma de inovação e desencadeiam o seu consumo, propiciam através da seleção uma interação entre o utilizador e a inovação fomentando a aprendizagem de uma técnica e o desenvolvimento recíproco. Dessa relação surgem vantagens para o utilizador assim como para a tecnologia que ao ser selecionada se afirma perante as outras, perpetuando-se, integrando-se nas inovações. Quando as inovações alcançam o êxito, alteram a economia, aumentando a produção de capital que gera uma fase de expansão económica permitindo investir novamente em ciência.

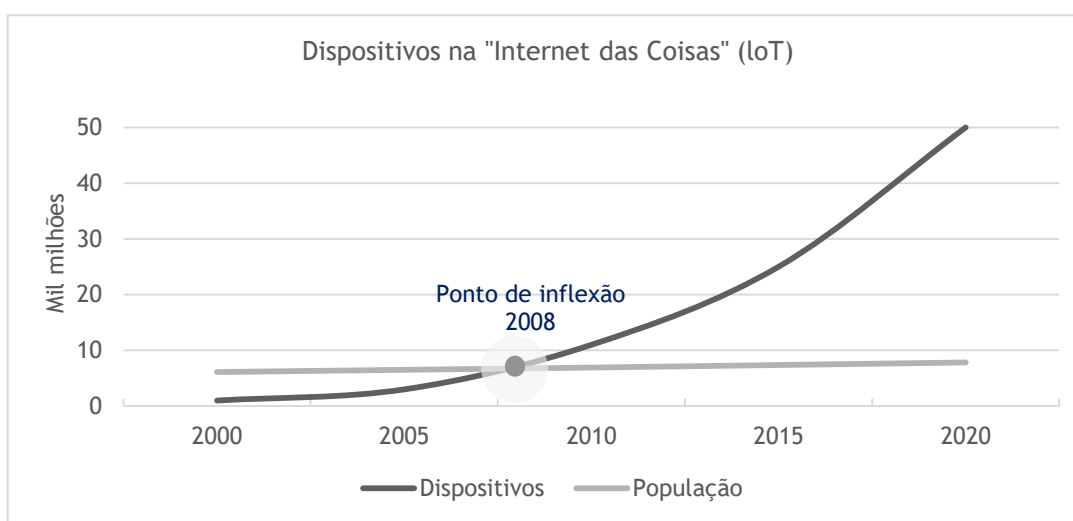
O desenvolvimento de equipamentos de comunicação estimularam um profundo impacto cultural e económico aproximando as populações, permitindo assistir a acontecimentos remotos, inclusivamente em direto. *“A tecnologia desempenhou e desempenhará um papel predominante na conformação da sociedade global da informação, só que não é a compreensão técnica do fenómeno, mas a sua assimilação às formas de vida do dia-a-dia, o que fará com que se desenvolva e progrida.”* (Cébrian, 1999).

No século passado diversos equipamentos permitiram simplificar as atividades domésticas de esforço manual como o fogão, o frigorífico, a máquina de lavar, e afins, libertando as pessoas das tarefas proporcionando maiores períodos de ócio aos seus utilizadores. Atualmente a introdução da domótica nas residências é uma realidade para um crescente número de lares em países mais desenvolvidos economicamente. Exigências do tempo (ou da falta dele) assim como imperativos de eficiência conjugam-se para proporcionar no lar automatizado ambientes “inteligentes”. Funcionam através de sistemas de comunicação como o controlo da iluminação, da segurança, da climatização, entre outros.

Estima-se que o número de dispositivos conectados cresça exponencialmente atingindo os 50 mil milhões no ano de 2020 (Cisco, 2017a). No entanto, o principal motor não são as pessoas mas sim os equipamentos utilizados diariamente como os frigoríficos, os automóveis, os *smartphones* assim como as máquinas industriais que se transformam em entidades conectadas a nível global. Este novo contexto de interligações onde os humanos interagem com máquinas e as máquinas entre elas (M2M) é uma realidade que se tem afirmado crescendo a ritmo vertiginoso. A Internet das Coisas (IoT) muito contribui para tal, podendo ser definida como uma rede omnipresente que permite monitorizar e controlar o ambiente físico recolhendo, processando e analisando os dados gerados por sensores ou objetos “inteligentes”. Abrangendo a comunicação entre máquina e humanos (M2H) por radiofrequência (RFID), através

de serviços de localização (LBS), por sensores *Lab-on-a-Chip* (LOC), pela realidade aumentada (RA), assim como pela robótica e pela telemática.

A incorporação de “inteligência artificial” nas inovações tecnológicas e os respetivos conceitos associados à interconetividade entre dispositivos físicos (M2M) são uma componente estrutural fundamental da IoT. No entanto a recolha de dados de dispositivos “inteligentes” através de milhões de sensores em rede não pode ser eficientemente realizada utilizando uma abordagem centralizada. A largura de banda pode ser insuficiente provocando congestionamentos derivado à ocupação de uma grande percentagem da capacidade da rede existente. Em diversos casos a utilização de circuitos fechados como o envio de um alarme para um sistema centralizado (que executa a análise) antes de desencadear uma ordem poderia provocar atrasos incompressíveis.



Fonte: Cisco (2017) e IBSG (https://subjects.ee.unsw.edu.au/tele3119/wk10_IoTsecProtocol.pdf)

Gráfico 50. Crescimento dos dispositivos na “Internet das Coisas” (IoT), entre o ano de 2000 e o de 2017, com previsões até 2020.

Esta capacidade de distribuição de “inteligência artificial” conhecida por *Fog Computing*, consiste numa arquitetura projetada especificamente para processar dados de dispositivos IoT mantendo uma maior relação de proximidade com a fonte comparativamente à centralização de dados oferecida pela “Nuvem - Cloud”. O SMS (Service Management Systems) são o elemento central funcionando como o cérebro numa arquitetura IoT. A sua interação ocorre com banco de dados inteligentes constituídos por informações fundamentais como as de contratos, de políticas na produção de dados históricos, assim como de tecnologias de reconhecimento de imagem, de pessoas, de objetos, de edifícios, de locais, inclusivamente de logotipos ou de outros elementos pretendidos pelos consumidores ou empresas. Os *smartphones* e diversos outros equipamentos munidos de câmaras muito têm contribuído para alavancar esta tecnologia das aplicações industriais numa vertente mais direcionada para o consumo.

Neste contexto, um marco assinalável foi atingido no ano de 2008, o ponto de inflexão, quando o número de dispositivos e objetos conectados à internet (6 721 mil milhões) superou a população mundial (gráfico 50).

No ano de 2000, os dispositivos ligados à *internet* provinham essencialmente de computadores e portáteis que serviam uma população que não parava de crescer ultrapassando os 6,12 mil milhões. O ponto de inflexão como já referido, foi atingido em meados do ano de 2008 onde o número de objetos “inteligentes” atingiu e ultrapassou inclusivamente o dos habitantes a nível global.

As projeções indicam uma média de 6,4 dispositivos por pessoa (United Nations, 2014) para o ano de 2020. Esta tendência de crescimento muito se deve a uma mudança da *internet* IPv4 baseada nos utilizadores de tecnologias de informação (TI), para uma *internet* IPv6 alicerçada numa Tecnologia Operacional (TO). Com uma arquitetura de máquina para máquina (M2M), incluindo sensores, objetos inteligentes e sistemas em *cluster* (como por exemplo as redes inteligentes).

4.5. Ambientes “inteligentes”

Um dos fatores mais importantes que contribui para a crescente adoção da *Internet* das Coisas (IoT) é indiscutivelmente o aparecimento de diversos dispositivos móveis. Estas inovações com capacidade de se conectar e de comunicar diretamente com a rede quer através de Wi-Fi ou *Bluetooth* entre outras tecnologias têm potenciado significativamente este novo contexto.

Estes dispositivos apresentam-se com configurações diversificadas num contexto “inteligente”, quer sob a forma de relógios, de roupas, de *scanners* ou de inovações de navegação e localização, entre outras. O crescimento do número desses dispositivos foi consequência de um aprimoramento constante das tecnologias que lhes davam suporte. Estes desenvolvimentos combinam-se com estilos pessoais paralelamente às melhorias e capacidades da rede resultando em diversos aplicativos para a Realidade Virtual (RV) assim como para a Realidade Aumentada (RA). A conectividade é fundamental e não se restringem apenas a ferramentas e funções incorporadas mas a uma redefinição do *software* e dos sistemas desenvolvidos além da interação com os utilizadores. As máquinas começam a entender e a antecipar o que pretendemos num paradigma computacional completamente novo.

O termo “Inteligência Artificial” foi cunhado em 1955 por Carthy (2016), referindo-se a máquinas que poderiam executar determinadas tarefas que exigiam inteligência quando realizadas por seres humanos. Outras perspetivas chegaram a defini-la como a imitação através da simulação baseada em processos cognitivos humanos. Eventualmente um dos exemplos mais difundido e mediático foi o caso do robô “Sophia” o primeiro no mundo a ganhar cidadania desenvolvido pela empresa Hanson Robotics (2017), apresentado nas conferências da Iniciativa de Investimento Futuro (FII - Future Investment Initiative) em Riyadh, no Center for International Communication, em 2017. As reações foram diversas incluindo o pronúncio do fim da humanidade. No entanto, a realidade é outra e as limitações são óbvias e restringem-se a uma utilização de aplicações para casos muito específicos. Quando aplicado ao conceito de aprendizagem a IA permite pensar e executar tarefas segundo uma determinada lógica em função do acesso às possíveis relações previamente estabelecidas com a informação disponível.

À semelhança das redes neurais humanas, as artificiais podem ser treinadas permitindo processar dados e estabelecer relações obtendo conclusões práticas.

Atualmente os avanços registados sem precedentes e nalguns casos inesperados nesta área, têm potenciado o aparecimento de dispositivos gradualmente mais complexos e autónomos. São diversos os exemplos como o do Google DeepMind que utilizou o designado AlphaGo (Wired, 2016) para vencer um dos melhores jogadores do mundo numa partida de xadrez. O reconhecimento de voz é outra das áreas que tem potenciado o aparecimento de assistentes como o Siri da Apple (2018), do Cortana da Microsoft AI, do Alexa da Amazon ou o Google Assistant (Bushnell, 2018). Um segmento de mercado que tem disputado as vendas a retalho assim como a organização das contas de *e-mail*, classificando as mensagens ou simplesmente fornecendo sugestões sobre a que programas assistir.

Verifica-se entretanto o aparecimento de veículos autónomos sem condutor e dispositivos muito diversificados que mais lembram argumentos da ficção científica. Todavia, estas ideias fundamentam-se em algoritmos como o desenvolvido pelo Laboratório de Computação e Inteligência Artificial do MIT (CSAIL, 2017). Incorpora respostas em caso de emergência, sistemas de imagem para detetar objetos ou pessoas em condições adversas, medir velocidades e calcular a trajetória mais aconselhável em tempo real.

A Inteligência Artificial está para ficar. Segundo alguns especialistas uma revolução está a chegar e aparentemente com grande impacto quer económico quer social (Rapp e O'Keefe, 2018; Smil, 2014). Após décadas de promessas extravagantes e inúmeras frustrações este novo contexto está finalmente a oferecer benefícios reais proporcionando vantagens aos seus utilizadores (Bughin *et al.*, 2017). Segundo um relatório da PwC (2017) estima que a IA pode adicionar 15 700 mil milhões US\$ ao PIB global até 2030.

Porquê agora? Para Venkatachalam (2017) existem quatro condições prévias que permitiram à IA adaptar-se definitivamente com especial ênfase nos últimos cinco anos.

Em primeiro lugar, a grande maioria dos dispositivos tendencialmente estão conectados em rede. Kurzweil (MyPRSA, 2017) afirma que até ao ano de 2030 será comum o cérebro dos humanos estarem ligados à nuvem. A proliferação dos sensores já tinha sido evidenciada por Amerasekera no ano de 2013 (Amerasekera, 2013). Inicialmente a *internet* funcionou como elemento de ligação entre computadores pessoais, posteriormente foram os dispositivos móveis a acompanhar o ritmo de vida. Os sensores permitem que edifícios, sistemas de transporte, habitações, inclusivamente o nosso vestuário estejam conectados à nuvem, transformando-os em mini dispositivos que tanto podem enviar informações como receber instruções.

Outro dos aspetos prende-se com a computação estar generalizada e disponível a custos comportáveis. Enquanto a lei de Moore proporcionava a cada 18 meses uma duplicação da velocidade com os mesmos custos associados, atualmente essa cadência mantém-se, no entanto os custos descem para metade afirmam Andreessen *et al.*, (2016). Esta liberalização de processadores permite antever a sua difusão por um crescente número de aplicações com

capacidade de computação para um sem fim de situações, no intuito de resolver situações que eram impensáveis e talvez incomportáveis mesmo há cinco anos atrás.

Os dados são equiparados a um produto, embora intangível. A quantidade e variedade não param de crescer num ambiente tendencialmente interligado. Esta componente foi reforçada pelos *smartphones* e diversas inovações que proporcionaram novas fontes de dados. Por exemplo através das redes sociais com fotografias, com *emotives*, com vídeos, entre outros. Este é o novo idioma que as máquinas entendem e são esses dados que permitem que estes equipamentos aprendam.

Os principais intervenientes na área dos telefones móveis utilizam as vantagens oferecidas pela Inteligência Artificial, ou mais precisamente pelos algoritmos. No entanto são poucos os dispositivos que utilizam o seu próprio *software* IA dependendo em grande medida da conectividade *online* aos servidores da nuvem com uma configuração bastante limitada afetando a forma como a informação é veiculada (Galeon, 2018). Recentemente uma das empresas mais influentes no desenvolvimento de *chips* designada ARM (2018a), quer mudar o estabelecido. O projeto Trillium (ARM, 2018b) segundo os responsáveis torna o processo mais eficiente através de um processador revolucionário *Machine Learning* (ARM Developer, 2018) que pode ser incorporado em diversos dispositivos. Permite que continuem a executar algoritmos de aprendizagem inclusivamente quando desconetados, diminuindo o tráfego de dados, acelerando o processamento e simultaneamente economizando energia argumentou Jem Davies, na MIT Technology Review (Condliffe, 2018).

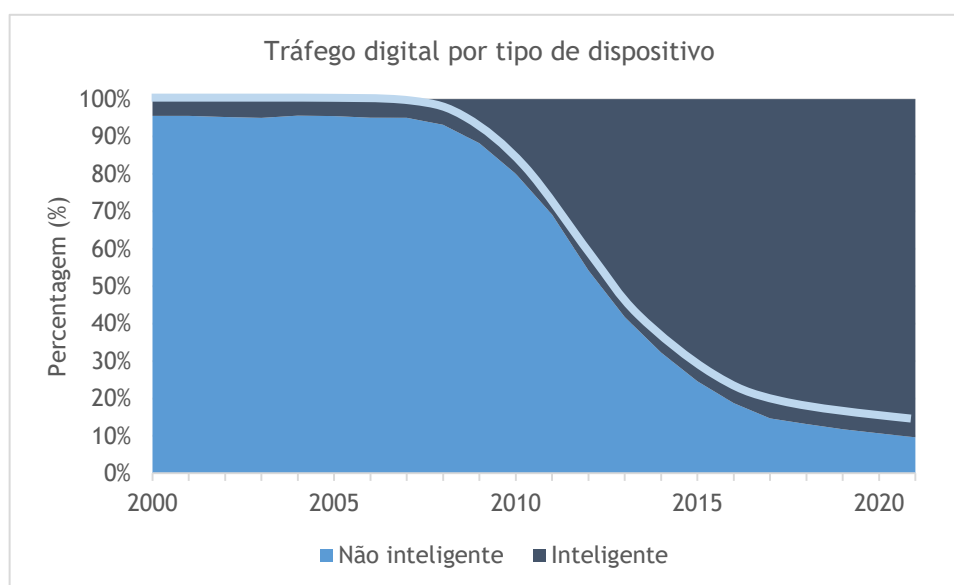
A Apple também já projetou e desenvolveu um “mecanismo neural” (Houser, 2017) como parte do *iPhone X*, para lidar com as redes neurais artificiais do telefone para imagens e processamento de voz. Um trajeto semelhante verifica-se na Google, através do seu *smartphone* Pixel 2, segundo Fingas (2017). Inclusivamente a empresa Chinesa Huawei, (Kelion, 2017) ou a Amazon com os seus próprios chips IA para o Alexa, (Statt, 2018). Condliffe (2018) na MIT Tech Review, observa que esta tecnologia IA, pode vir a ser adotada generalizadamente a partir de 2019 em consequência da partilha dos conhecimentos por diversos parceiros de *hardware*.

O aprendizado deixa de se situar exclusivamente no contexto dos seres humanos e migra exponencialmente para as inovações. As máquinas como aprendizado utilizam gradualmente uma variedade de algoritmos e modelos matemáticos para detetar padrões implícitos nos dados ou inclusivamente na previsão de resultados. Os anteriores modelos de aprendizagem das máquinas constituídos a partir de amostras de dados têm-se mostrado muito limitado. Exigem-se novos modelos com características mais eficientes na análise de dados que não param de crescer (Marr, 2016). A utilização da IA amplia a capacidade dos seres humanos para resolverem problemas em diversas áreas como o da saúde, da pobreza ou da educação, entre outros, melhorando simultaneamente a qualidade de vida para um futuro melhor. A escassez de água potável em determinadas zonas do globo é um problema que afeta cerca de 4 mil milhões de pessoas de uma forma severa pelo menos um mês por ano. Os benefícios de conectar a rede de água às infraestruturas das “cidades inteligentes” começam a diminuir o problema (Mekonnen

e Hoekstra, 2016). A cidade inteligente é frequentemente descrita como o “sistema dos sistemas” onde a *Internet das Coisas* (IoT), converge com as infraestruturas tradicionais para alcançar uma eficiência operacional melhorando simultaneamente os níveis dos serviços prestados, a sustentabilidade e a vitalidade económica, segundo um grupo de investigadores do Banco Mundial (Marin, *et al.*, 2017). Israel é um exemplo de como a tecnologia da água pode revolucionar um setor. Observando que “*Nos últimos anos, com o advento das tecnologias de informação e comunicação, muitos conceitos de alta tecnologia penetram no setor das águas (...), baseada em algoritmos e na “nuvem”*”. Este país costumava ser assolado pela falta de água mas atualmente como resultado de uma gestão de recursos apoiada nas novas tecnologias permiti-lhes abastecer inclusivamente os países vizinhos, com os respetivos benefícios.

Vários outros exemplos poderiam ressaltar e em diversos setores como o da eletricidade ou dos transportes, conduzindo necessariamente ao crescimento do poder computacional. Os algoritmos e os modelos de IA mais sofisticados produzem volumes de dados e informações sem precedentes na história da humanidade.

A capacidade de armazenamento de informação em formato digital superou a analógica no início do novo milénio como se verificou anteriormente. O tráfego gerado não é imune a estes desenvolvimentos demonstrando por sua vez um crescimento exponencial. No ano de 2008 o número de dispositivos digitais na “Internet das Coisas “ superou a população mundial. Em 2013, o tráfego de informação digital através de dispositivos “inteligentes” suplantaram pela primeira vez os não inteligentes (*gráfico 51*). A metodologia assenta na divisão em dois grupos de dispositivos, sendo o primeiro constituído pelos *smartphones* e pela M2M (Machine to Machine) e o segundo por PCs, tablets, telemóveis e outros dispositivos móveis, uma categoria que engloba por sua vez jogos de consolas e diversos tipos de leitores.



Fontes: https://engineering.nd.edu/news-publications/pressreleases/Cisco_VNI_Global_Mobile_Data_Traffic_Forecast_2010_2015.pdf ;
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> ;
http://davidhoglund.typepad.com/files/white_paper_c11-520862.pdf

Figura 51. Tráfego de informação em formato digital por tipo de dispositivo, inteligente e não inteligente entre o ano de 2000 e o de 2017, com previsões até 2021.

Em 2010, o tráfego digital registado pelo grupo dos dispositivos não inteligentes mais que quadruplicavam com 172 mil Terabytes por mês (80% do total), o dos dispositivos “inteligentes” (20% do total) que apresentavam um volume de cerca de 42 mil (TB por mês). Em 2013, como referido verifica-se uma inversão e o tráfego registado pelos dispositivos “inteligentes” atingiu os 58% do volume global de informação com 9,4 mil milhões de TB por mês ao invés do outro grupo que se limitava aos 6,7 mil milhões de TB.

No ano de 2015, os valores obtidos são sensivelmente os inversos aos registados em 2010, ou seja, apenas 5 anos volvidos, verifica-se uma troca nas proporções dos 20% para os 80% do total da informação. Em 2017, a supremacia dos dispositivos inteligentes torna-se indiscutível com 85% do total com 9,6 mil milhões de TB por mês ao invés dos 15% do outro grupo com os 1,65 mil milhões de TB por mês. De realçar que no período compreendido entre o ano de 2010 e o de 2017 ambos os grupos registaram crescimento no tráfego, no entanto enquanto os dispositivos não inteligentes veem multiplicado por um fator de 10X, o outro grupo observa por sua vez um extraordinário fator de 225 vezes. Aparentemente esta tendência é para se manter segundo as previsões da Cisco (2017b) relegando o tráfego através de dispositivos não inteligentes para os 10% do total no ano de 2021 (4,7 mil milhões de TB), em comparação aos mais de 90% com 44,2 mil milhões de TB por mês.

Os avanços registados na IA já se fazem sentir na economia, reflexo da sua inserção no quotidiano das populações. Frequentemente a perceção fica limitada sobre o assunto em consequência de não ser palpável fisicamente como se tem verificado anteriormente com diversas inovações. *“It is far more an opportunity for growth”* disse Joshua Gans titular da cadeira Jeffrey S. Skoll de inovação técnica e empreendedorismo na Rotman School of Management da Universidade de Toronto 2017, *“Não me parece que vá perturbar a economia, mas torna os indivíduos e as empresas mais eficientes (...) por outras palavras, a IA representa um aumento de produtividade”*. Estas tecnologias já estão inclusivamente a mudar a forma como trabalhamos sendo crucial a preparação atempada das populações face às mudanças em perspectiva.

4.5.1. Mobilidade em ambientes inteligentes

Para uma melhor compreensão do que se verifica atualmente e da amplitude das mudanças tecnológicas consideremos o que se verifica por exemplo no setor automóvel. A partilha na utilização inclusivamente de dados entre eles, os veículos eletrificados sem condutor e a aplicação de materiais mais leves, podem alterar substancialmente o panorama futuro.

Os utilizadores de carros particulares em ambientes densamente urbanizados alteram tendencialmente as suas preferências diversificando os meios de mobilidade com consequências para o modelo comercial estabelecido. Por sua vez, o futuro na mobilidade é bastante mais do que carros elétricos, autónomos, sem condutor. A mobilidade e o comportamento dos consumidores estão a sofrer mudanças significativas nestes ambientes “inteligentes”. O alcance

e as dimensões desta realidade manifesta-se quer através das políticas adotadas quer nas inovações, na inclusão social, na conectividade e na sustentabilidade.

A perspetiva sobre a mobilidade e o aumento da complexidade e diversidade da indústria, obrigará os concorrentes do setor a competir em várias frentes e simultaneamente a cooperarem entre si. Enquanto outros setores de atividade como o das telecomunicações já sofreram inúmeras adaptações, a indústria automóvel mantinha-se imune a esses constrangimentos. Por exemplo, apenas 2 novos intervenientes apareceram na lista dos 15 maiores fabricantes nos últimos anos, em contraste com os 10 na área dos dispositivos de comunicação (Nyquist *et al.*, 2016).

A partilha resulta da conjugação e interligação crescente de diversos meios de transporte em detrimento da propriedade individual favorecendo o que interessa, a mobilidade. Este fenómeno também se verificou à semelhança do que aconteceu anteriormente com os produtos digitais através de *softwares* onde uma única unidade é partilhada por todos os utilizadores. No entanto, este novo contexto de partilha de veículos ameaça o pré-estabelecido. Diversos analistas entre os quais os do Barclays Research Estimates, Brandon Schoettle e Michael Sivak do Instituto de Investigação de Transportes da Universidade do Michigan (Naughton, 2015), preveem que os veículos sem motorista autodirigidos poderiam provocar um decréscimo de 40% na produção nos EUA, até ao ano 2040. Estes indicadores alertaram os construtores convencionais de produção em massa, como a General Motors (GM), ou a Ford Motor Co., os mais visados e afetados, com uma redução na produção de 68% e de 58%, respetivamente, nesse mesmo período. Despertaram visões ainda mais alarmantes com Robin Chase (Chase, 2016) em “*Self-Driving Cars will improve our cities. If they don’t ruin them*”, onde frotas de veículos autónomos, elétricos e compartilhados (FAVES - Fleets of Autonomous Vehicles Electric Shared), podem provocar uma redução em cerca de 90% no mercado.

Os sinais de alerta para a velha ordem já se fazem sentir. Os investimentos no setor multiplicam-se, envolvendo construtores de automóveis de todo o mundo como a BMW, a General Motors, a Volkswagen, a Toyota ou a Ford, que procuram antecipar e preparar-se para este novo contexto dos serviços e das partilhas. Estas empresas estão a rever os seus modelos de negócio face a uma redefinição do próprio conceito de mobilidade e da crescente concentração das populações em grandes centros urbanos, onde veículos de menores dimensões e em menor quantidade (desmaterialização), provocam um tipo de utilização média mais intensiva com maiores índices de ocupação e simultaneamente maior número de quilómetros percorridos (Johnson, 2015).

A Tesla também já planeia uma frota autónoma compartilhada para que os proprietários possam inclusivamente rentabilizar os investimentos realizados com os seus próprios veículos. (Lambert, 2016). Elon Musk, CEO da empresa, em 2016 elaborou um plano de substituição da estratégia existente da empresa produtora, para a propriedade e partilha de veículos. Este plano permite aos proprietários rentabilizar os veículos quando não estão a ser utilizados em

períodos como férias ou no trabalho. Segundo Musk, a maioria dos veículos são apenas utilizados pelos seus proprietários em cerca de 5% a 10%, podendo ser partilhados o resto do tempo. A restante frota será dirigida pela própria Tesla em complemento à compartilhada dos proprietários, quando esta se mostrar insuficiente face à procura do próprio mercado.

Atualmente os consumidores utilizam os seus automóveis como veículos de uso geral para viajar quer individualmente para o emprego quer para o fim-de-semana ou para as férias com a família. No futuro, as exigências podem caminhar para uma flexibilidade na escolha da melhor solução em função de uma necessidade específica, simplesmente através de um *smartphone*. Acarreta um declínio na importância da propriedade de automóveis particulares com maior expressividade entre os jovens. Segundo Paul Gao a percentagem de jovens entre os 16 e os 24 anos de idade munido de carta de condução atingia um universo de 76% no ano de 2000, para 71% em 2013, verificando-se simultaneamente um aumento nos últimos 5 anos em cerca de 30% dos membros que adotam a partilha de veículos em países como a Alemanha e os EUA. A utilização de soluções personalizadas face aos novos hábitos exigem novos segmentos de veículos especializados projetados para necessidades cada vez mais específicas. Estes desenvolvimentos apontam para que no ano de 2050, 1 em cada 3 carros comercializados seja para o uso geral das populações no contexto de partilha.

Para o consumidor final estes tipos de produtos híbridos inteligentes permitem que se combinem no sentido de fornecer uma mobilidade adequada, libertando-os da necessidade de comprar o seu próprio veículo. Brian Johnson (2015) em *“Disruptive Mobility: AV Deployment Risks and Possibilities”* (Johnson, 2015) argumenta precedentes históricos para justificar esta mudança estrutural, comparando o declínio do número de cavalos ao longo do tempo com a introdução dos veículos motorizados, comparativamente a este novo ambiente e desafios de serviços e partilhas. Kiley (2016) escreveu um artigo na Forbes onde ironicamente questionava: Porque que motivo os produtores de automóveis estão ansiosos para integrarem produtos ou serviços de partilha, talvez estejam, a procurar captar um crescente mercado que já não consigam ocultar?

Estes novos desenvolvimentos assentam em dois pilares, o primeiro nos veículos autónomos sem condutor, que selecionam o percurso mais rápido através de atualizações de tráfego em tempo real. O segundo reside nas redes de transações P2P (secure Peer-to-Peer), que dispensam ou diminuem a necessidade de recorrer a serviços externos como bancos ou empresas de partilha como a Uber. Num curto prazo de tempo, este contexto permitirá que qualquer proprietário entre neste mercado definindo os termos, as condições e os preços a praticar.

Pode afirmar-se que a indústria automóvel tem focado a sua atenção em quatro grandes tendências disruptivas e que se fortificam mutuamente: a mobilidade partilhada, a condução autónoma, a eletrificação e a conectividade. Esta junção de propensões impulsiona o mercado e favorecem a alteração de regras que conduzem a uma mudança de tecnologias tradicionais para modelos de negócio inovadores (Heineke *et al.*, 2017a).

A inteligência artificial (IA) é uma tecnologia nuclear face às novas tendências que se avizinham. A condução autónoma (Heineke *et al.*, 2017b) por exemplo carece da IA como tecnologia fulcral para o reconhecimento e em tempo real de pessoas ou obstáculos ao seu redor. Os pneus inteligentes que permitem determinar a profundidade do piso em diversas zonas do mesmo, assim como a temperatura da borracha facilitam a deteção de danos estruturais ou desgastes. Relativamente às restantes tendências, à semelhança da anterior desafiam o pré estabelecido criando diversas oportunidades quer através da eficiência operacional reduzindo os custos quer de novos serviços associados. A mobilidade partilhada é outra das tendências onde a IA pode otimizar os custos melhorando o serviço, prevendo e combinando a oferta e a procura (Grosse-Ophoff *et al.*, 2017). Outras das vantagens pode inclusivamente advir do agendamento na manutenção assim como na gestão de frotas e dos meios como um todo. Estas melhorias obtidas através da IA desempenham um crescente fator decisivo para o setor automóvel permitindo-lhes canalizar recursos imprescindíveis na inovação face a estas novas tendências verificadas.

Os novos produtos e serviços disponibilizados impulsionam o aparecimento de novos operadores (a abordar na *seção 4.9. Aparentemente algo de novo está acontecer....*, pág. 262), advindas de áreas das novas tecnologias, trazendo consigo o seu ADN para o setor. O resultado é a emergência de um novo ecossistema de parcerias (Heineke *et al.*, 2017c), em que os operadores beneficiam mutuamente, quer os tradicionais de novas tecnologias como a IA, assim como os novos atores, através da sua crescente influência no mercado da mobilidade.

A transição dos veículos baseados em *hardware* para os dispositivos direcionados para o *software* (intangível) iniciam uma nova etapa reescrevendo as regras da competitividade e da reorientação da indústria. O motor foi caracterizado como o núcleo da tecnologia do automóvel do século XX, transitando para o *software*, os sensores e o poder de computação que ocupam gradualmente esse papel. Esta nova composição intangível de linhas e códigos, (SLOC - Source Lines of Code)⁴⁸ acarretou simultaneamente a complexidade consigo. No ano de 2010, alguns veículos continham 10 milhões de linhas de código SLOC, aumentando por um fator de 15x, para cerca de 150 milhões em 2016 (Burckacky *et al.*, 2018). Com um setor posicionado para oferecer níveis crescentes de autonomia e segurança dos seus veículos, torna-se imprescindível a incorporação de *software* e da eletrónica como um dos principais requisitos. Segundo os autores o conteúdo médio desta componente (intangível) por veículo está a crescer rapidamente. No segmento D (familiar) representa cerca de 10% (1 220 US\$) e deverá aumentar percentualmente a uma taxa de 11% anuais, atingindo os 30% (cerca de 5 200 US\$) em 2030.

Uma das consequências destas movimentações estratégicas reside na arquitetura dos veículos orientada para os serviços, fundamentadas em plataformas de computação generalizada e de IA (Kasser *et al.*, 2018). A incorporação de novas soluções de conectividade, de aplicativos, da IA, de sistemas operacionais, entre outros, estimula uma diferenciação não tanto pelo *hardware* do veículo tradicional mas sim pelo *interface* do utilizador e experiência

⁴⁸ Medida utilizada para determinar o tamanho de um programa de software.

de elementos intangíveis alimentados pelo *software* e pela eletrónica associada. Novos sensores e aplicativos inteligentes provocam um aumento exponencial de dados e informações que necessitam de ser processadas eficientemente para se manterem competitivos (Bertoncello *et al.*, 2016).

A esta nova conjuntura temos a acrescer a introdução no mercado do sistema ADAS- Advanced Driver Assistance Systems (EC.TRIMIS, 2017) que desempenha um papel fulcral para os reguladores, utilizadores e entidades numa realidade de curto/médio prazo na introdução e comercialização dos veículos autónomos sem condutor (M2M). Estes pressupostos indicam que se pode aumentar a eficiência operacional do setor diminuindo simultaneamente vários milhões de automóveis a circular nas estradas com uma redução da taxa em cerca de 10% ao ano até 2035. Uma mudança de paradigma na mobilidade como um serviço tal como a encetada pela Uber, ou gigantes tecnológicos como a Apple ou a Google, aumentam a complexidade da paisagem competitiva colocando os tradicionais intervenientes sob pressão. A componente de *software* muito contribui para tal como o elemento diferenciador mais significativo para a indústria em diversas áreas e domínios (como a conectividade). Os sistemas avançados de assistência ao motorista ADAS configurados de uma forma crescente por aplicativos que fornecem conteúdos e requisitos de segurança digital mudarão o foco de uma perspetiva de controlo de acesso para um conceito integrado projetado para antecipar inclusivamente ataques cibernéticos (Bordonali *et al.*, 2017). Esta dinâmica acarreta novas preocupações baseada na experiência dos utilizadores e o setor prepara-se para fornecer aos seus clientes finais novas soluções diversificadas e integradas à medida das exigências quer seja para o dia-dia no trabalho quer para os fins-de-semana com a família. Proporciona ganhos de eficiência consideráveis além de uma melhor adequação dos recursos às necessidades dos utilizadores.

Mudanças muito significativas se avizinham baseadas na alteração de comportamento dos utilizadores, ou seja, onde o foco transita com maior pendor para a experiência no veículo do que a de condução. Segundo um inquérito à mobilidade cerca de 86% dos consumidores trocariam os veículos atuais para obter um sistema de assistência ao condutor, dos quais 37% mudariam de fabricante se fosse o único que oferecesse acesso total a aplicativo, a dados e em rede (McKinsey & Company, 2017). Essas mudanças segundo Aboagye *et al.* (2017) apresentam um grande risco por um lado mas uma grande oportunidade para o setor automóvel o qual aumentou o valor global dos 3 500 milhões US\$ em 2013 para os atuais 6 600 US\$. No entanto as tecnologias tradicionais e os respetivos modelos de negócio deverão diminuir dos 98% agora registados no mercado para os 50% em 2030.

Por falar em eficiência, a maioria dos veículos automóveis passa cerca de 96% do tempo em garagens ou estacionamento. Relativamente ao seu uso, a ocupação média fica bem abaixo dos dois ocupantes não obstante a sua grande maioria venha apetrechada com 5 lugares. As estradas por sua vez também engrossam os índices de ineficiência. As autoestradas permitem circular por hora uma média de 2 000 veículos por faixa de rodagem, no entanto essa média é de cerca de 10% do total disponibilizado (Myers e Morse, 2014). A acrescentar o flagelo dos

congestionamentos que diariamente pairam sobre os automobilistas um pouco por todas as cidades do planeta (geralmente num único sentido), diminuindo drasticamente a velocidade média de circulação com consequências nefastas em termos económicos, nos recursos, no ambiente e na qualidade de vida das populações em geral (Lovins, 2017). Homburger *et al.* (1992) já tinham observado a pertinência de diversos estudos sobre a eficiência dos veículos automóveis quando confrontados pelo tipo de utilização a que eram sujeitos. Verificando que a utilização média dos veículos em condução era de somente 2,6% do tempo, 0,8% à procura de estacionamento e 0,5% em congestionamentos, passando a grande maioria do tempo sem qualquer tipo de atividade.

O crescimento segundo o autor será impulsionado por tecnologias disruptivas que prosperam neste ambiente de mudança facilitando o domínio e controlo de pontos críticos dentro do ecossistema, de dados, de receitas e custos, de I&D assim como a adoção integral da Indústria 4.0, a abordar no capítulo seguinte. Os benefícios económicos na economia global são inegáveis, no entanto dependentes de duas regiões em consequência de dois terços estarem concentrados na China e na América do norte.

O resultado não se restringe a mudanças estruturais no setor mas acima de tudo nas consequências e do impacto na intensidade de recursos que atualmente representam cerca de 50% do consumo global de petróleo e mais de 14% das emissões com efeito de estufa (EPA, 2017a). A evolução do consumo de petróleo face a veículos mais leves pode levar a uma diminuição em cerca de 6 milhões de barris por ano até 2035 (Roelofs *et al.*, 2016). Outras matérias-primas não estão imunes a estes acontecimentos como o minério de ferro, um material fundamental para a produção de aço. Revelando contudo uma diminuição do esforço muito acentuado nos últimos anos (consultar capítulo 2), consequência quer da diminuição sentida pela procura por parte da China assim como um aumento da reciclagem (U.S. Geological Survey, 2018). Outros elementos contudo muito utilizados em equipamentos eletrónicos apresentam um acréscimo como o cobre, o lítio, o cobalto ou a grafite, entre outros, como mencionado no capítulo anterior.

Uma questão fundamental é a rapidez na adoção desta nova conjuntura tecnológica às diversas economias mundiais. As oportunidades oferecidas pelo setor digital manifestam-se transversalmente influenciando decisivamente a forma como as empresas se organizam, comercializam, sobrevivem ou prosperam. Mas as inovações possibilitam novas abordagens para questões antigas relacionadas com a intensidade na utilização de recursos indexado ao crescimento da economia, permitindo desenvolver potenciais reduções dramáticas no consumo de recursos naturais. Contudo, os avanços tecnológicos registados além de desafios oferecem inúmeras oportunidades para estimular a próxima revolução industrial.

4.5.2. Nova identidade dos produtos (Evolução)

Os objetos já não se limitam à componente física, além da simbologia, do seu valor histórico... são agregados ou conjugados diversos outros valores intangíveis, como a digitalização, os serviços associados e uma nova identidade em ambientes inteligentes.

Não é nova a identificação de um veículo, através de uma matrícula associada a um número no motor e no *chassi* para determinar o respetivo proprietário. No entanto, esta nova conjuntura, segundo Robin Chase, (Chase, 2016) possibilita que os próprios veículos se possam vir a tornar economicamente independentes e ter as suas próprias declarações de atividade, tomando autonomamente as suas próprias decisões através de um conjunto de algoritmos e informações fornecidas em tempo real, no intuito de maximizar os benefícios.

Os produtos físicos revelam uma tendência crescente na valorização da componente digital e pelo contrário nas inovações digitais verifica-se o inverso, ou seja, uma maior interdependência com o mundo físico, provocando uma maior interação e cooperação entre estes dois lados opostos da mesma moeda.

Aos produtos, são agregados componentes digitais omnipresentes em ambientes ciber físicos que lhes permitem agir autonomamente além de processar, partilhar a informação em tempo real. Novas valências conferem-lhes uma determinada “Inteligência Artificial” traduzindo-se num aumento significativo da importância do intangível nos produtos. A componente desmaterializada aumenta e valoriza os objetos que nos rodeiam assim como toda a cadeia de valor. As áreas de atuação são diversificadas e incluem desde maquinaria para setores da construção, agrícola, instalações solares, alarmes, semáforos, entre outros. Inclusivamente, em veículos de passageiros, (*seção 4.9 “Aparentemente algo de novo está a acontecer...”*, pág. 262), onde a componente digital por veículo, registou um substancial aumento (Boston Consulting Group). Complementadas, segundo Naebe e Shirvanimoghaddam (2016), “*por funcionalidades agregadas aos materiais*”, que se apresentam mais leves assim como adaptados a novas características exigidas. No entanto, estes desenvolvimentos podem levar a algumas preocupações em consequência do aumento da diversidade de materiais que compõem os produtos, exigindo processos de triagem para reciclagem gradualmente mais complexos.

Estes novos produtos tendencialmente “inteligentes” agregados com alto valor tecnológico em que a componente intangível aumenta, partilham através de redes sem fios informações com outros dispositivos e/ou utilizadores. A rede permite que os produtos munidos de sensores interconectados colaborem autonomamente entre si funcionando como sistemas integrados adaptando-se às novas exigências ou necessidades.

As mudanças são baseadas numa maior modularização com a implementação da funcionalidade da nuvem incorporada nos dispositivos. Com os aumentos na funcionalidade geral e complexidade dos sistemas surge a necessidade de uma maior distribuição da tomada de decisão. Além disso, os portais *online* para *download* de *software* e relacionamentos de parceiros colaborativos oferecem configurações de equipamentos mais flexíveis e adaptáveis. Podendo também envolver, desde serviços e compras *online* de bens físicos, até produtos intangíveis (bens ou serviços) fornecidos em suporte digital.

A transformação digital da economia global está a criar uma grande mudança do paradigma na cadeia de valor, onde se assiste progressivamente a uma nova tendência, em que

produtos e serviços *online* se fundem para se transformarem em "produtos e/ou serviços inteligentes" numa nova indústria de produtos híbridos.

Este assunto tem proporcionado diversas reflexões, inclusivamente pela Comissão Europeia sob o tema "Integração de Produtos e serviços" (Gapper, 2015) evidenciando três fatores que se combinam para remodelar os fundamentos da cadeia de valor dos quais se destaca a revolução digital, que aumenta drasticamente o alcance, a flexibilidade e agilidade deste novo contexto. Assim como a competição internacional e a natureza das interações socioeconómicas, transformando as aspirações e preferências das pessoas como a expectativa de gratificação instantânea oferecida por serviços (à distância de um clique) baseados na interoperabilidade perfeita entre produtos e dispositivos eletrónicos.

A tecnologia altamente automatizada permite o processamento de dados de alta velocidade. Os produtos e inovações são a chave para o sucesso de uma nova geração de serviços inteligentes com potencial de oferecer maiores níveis de segurança, conveniência e eficiência energética. Os produtos ou serviços inteligentes são plataformas que reúnem produtores, distribuidores e utilizadores ao longo de toda a cadeia de valor.

Os serviços baseados na *internet* inseridos no programa tecnológico "*Smart Service World II 2016*" (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017), termo sucessor do "Projeto Futuro" da Indústria 4.0 (a abordar no Capítulo seguinte), refere disposições previstas tanto na Agenda Digital como na Nova Estratégia de Alta Tecnologia 2020. Estas evidenciam as cadeias de valor que existem para lá do contexto das "Fábricas Inteligentes" e dos serviços *online* relacionados. Juntos, propiciam "novos produtos inteligentes" que atuam nas respetivas plataformas digitais subjacentes. Tais como o desenvolvimento de redes inteligentes para o fornecimento de energia renovável, a implementação de conceitos de mobilidade inovadores, incluindo computação em nuvem, e-saúde e e-learning, entre outros, sendo fulcrais para essas novas soluções.

4.5.3. Produtos e serviços personalizados em ambientes Inteligentes

Gradualmente os produtos e os serviços conquistam o seu espaço em ambientes tendencialmente inteligentes...

A evolução dos produtos ou inovações tecnológicas agregam-se com os serviços nos ditos ambientes conferindo-lhes simultaneamente um grau crescente de complexidade ao longo do tempo, segundo a DFKI ([s.d]); Wahlster (2016) afirmou que 90% dos computadores existentes atualmente são incorporados em produtos.

Em meados do século passado existia um computador central para diversos utilizadores, representando um relativo grau de complexidade tecnológica, tendo atingindo o seu ponto máximo aproximadamente na década de 60. Posteriormente na década de 80, exemplificado pelo PC e pelo portátil, foi registado uma diminuição substancial no número de utilizadores por unidade. No início do novo século, desencadeia-se uma nova abordagem pela difusão de computadores neste caso com um único utilizador por produto, que pode ser exemplificado

pelo *smartphone*, onde se verifica um aumento exponencial no grau de complexidade dos produtos que inclusivamente se agregam de serviços, já incluídos.

O produto e os serviços fundem-se envolvidos por um crescente ambiente inteligente de soluções. Hoje, estamos rodeados por uma infinidade de produtos e objetos inteligentes revestidos por redes e sensores de alto desempenho que fornecem dados específicos sobre o meio envolvente, o “mundo físico”. Estes, agora autónomos e produzidos em atmosferas inteligentes, funcionam simultaneamente como plataformas físicas em rede, originando uma crescente quantidade de dados que são constantemente processados e compilados.

Segundo o Ministério Federal da Economia e Energia Alemão, em 2015 existiam a nível global, cerca de 15 mil milhões de dispositivos ligados à *internet* prevendo-se que esse número deva ascender a mais de 30 mil milhões até ao ano de 2020 (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017b). Num estudo realizado pela Gartner, Inc (Stamford, Connecticut, EUA), prevê-se que o número de dispositivos ligados à “*Internet* das coisas” (IoT), excluindo, os *smartphones*, os *tablets* e os computadores (PCs) em 2020 seja em cerca de 26 mil milhões de unidades (Gartner, 2013).

Apresentando previsões relativamente aproximadas e confirmadas pela Nacional Academy of Science and Engineering, no relatório “Smart Service Welt” (Acatech, 2015), os especialistas mencionam que atualmente o setor doméstico representa cerca de 50% do consumo total de dispositivos inteligentes, a mobilidade com 25% e a indústria com 20%. Gradualmente, diversos outros produtos e serviços perfilam-se como os dispositivos para a medicina, para o setor bancário, para a agricultura, que segundo os autores, contribuirá para um crescimento na cadeia de valor, que ascende a mais de 1 900 mil milhões de US \$ (Gartner, 2013).

Após saírem da fábrica, os produtos inteligentes são conectados via *internet*, trocando e fomentando, um crescente volume de dados em função do seu uso e solicitações. Poder-se-á argumentar, que este contexto de avalanche de dados constitui realmente a matéria-prima mais importante do século XXI?

Os dados são analisados no intuito de os aprimorar sendo interpretados, correlacionados e complementados. Resultam em dados inteligentes para controlar, manter e melhorar os produtos e os serviços inteligentes. Os ditos dados inteligentes resultantes dessa correlação podem gerar conhecimento que constituem a base de novos modelos de negócio.

Os produtores perante esta nova e crescente realidade procuram diversificar os produtos e serviços com o intuito de satisfazer as crescentes exigências dos consumidores impulsionando o crescimento e diversidade de soluções customizadas revelando a tal crescente componente na personalização.

São diversas as empresas que já disponibilizam este tipo de serviços através de portais e soluções informáticas desenvolvidas com essa finalidade. É o caso da Adidas que proporciona aos seus clientes um *software* onde o cliente utilizando uma APP, pode customizar ou inclusivamente personalizar o próprio modelo, projetando-o à sua medida e na quantidade

pretendida. Esta nova realidade remete-nos para a seguinte questão, será a venda de um produto? Ou a prestação de um serviço?

Em consequência de uma crescente percentagem de segmentos de mercado não satisfazerem as suas necessidades com produtos massificados e escoados através das tradicionais cadeias de venda ao público, a Adidas decidiu abrir as fábricas rápidas "*speedfactories*" (a mencionar na *seção 4.9.1. Inovações físicas/digitais*, pág. 267) um novo conceito/serviço para produtos personalizados, mais próximo do cliente, através de Sistemas Ciber Físicos de Produção (CPPS - Cyber Physic Production Systems).

Este fenómeno pode ser verificado em diversos sectores de atividade inclusivamente no alimentar, onde gradualmente diversas empresas aderem a este novo contexto. É o caso dos cereais em que a Muesli através da aplicação *MyMuesli (custom,mixed,cereals)*, disponibiliza em formato digital um portal na *internet* que permite ao consumidor formular as suas opções e controlar a produção num contexto de cerca de 500 mil milhões de variedades, ou seja, o cliente tem um leque bastante variado de escolhas de cereais assim como da percentagem pretendida, numa só embalagem.

4.5.4. Otimização

Otimizar a utilização dos recursos existentes aumenta a produtividade integrando por exemplo *software* em equipamentos industriais tradicionais disponibilizando-os como um serviço por toda a cadeia de valor.

Diversos centros de investigação como o da General Electric, o da Rolls-Royce Holdings ou o da Pratt & Whitney estão a re-imaginar uma tecnologia que não sofreu grandes alterações de base nos últimos 50 anos como a do motor a jato. Os engenheiros trabalham para levar à "ciência antiga" novas características mais eficientes, mais leves e mais fiáveis (Biba, 2017). A General Electric, por exemplo, introduz nos seus motores a jato, *software* avançado e sensores que produzem dados importantes em tempo real durante o voo. O registo digital permite que os aviões acionem os dispositivos necessários para a manutenção e pedido de peças sobressalentes antes de pousarem. Reduzindo significativamente os custos de manutenção por hora de voo, através da antecipação e racionalização das atividades indispensáveis para a rentabilidade do setor.

Outro dos casos é o preconizado pelo fabricante e líder mundial de equipamentos pesados (Komatsu, 2017) que atinge outro patamar otimizando a utilização dos equipamentos incluindo o dos seus clientes, através de um novo serviço de aluguer. A mensagem é clara, necessita de determinados equipamentos ou motores por apenas alguns dias? Ou, tem equipamentos não utilizados e pretende alugar? A Komatsu ajuda-o a encontrar.

Alguns métodos de otimização são surpreendentemente eficazes e simples como o preconizado por diversas empresas do setor dos transportes rodoviários evitando as mudanças de sentido para a esquerda. Esta abordagem permitiu-lhes reduzir o consumo de combustível, aumentando os níveis de segurança e simultaneamente a velocidade média. É o caso da UPS

que reduziu em cerca de 30% os custos apenas por reestruturar as rotas do serviço de distribuição, refletindo e atualizando as condições de tráfego em tempo real através de novas tecnologias digitais (Prisco, 2017).

À medida que as empresas consideram as oportunidades que mais potencializam, os princípios orientadores da otimização têm em consideração determinados fatores como os recursos mais importantes serem integrados com *software* e sensores; analisar e monitorizar o tempo de utilização médio dos equipamentos existentes, assim como identificar os que recorrem a uma utilização intensiva em energia para desempenhar uma determinada função.

Este contexto tanto pode ser aplicado em equipamento de construção, como em contentores de transporte que regressam vazios (sem carga), ou simplesmente na circulação de aviões e do tempo de espera em aeroportos (Bäumel e Hausmann, 2018). Todos estes casos têm algo em comum, soluções de TI que facilitam e reorganizam o tempo, as descargas ou a partilha otimizando os recursos existentes.

4.5.5. Virtualização

A utilização mais intensiva de *interfaces*, viabilizadas pelas novas tecnologias será cada vez mais propícia quando aplicadas a um mundo incorpóreo, imaterial, virtual, quase abstrato. Esta mudança manifesta-se através de uma transição ou como complemento de produtos físicos em relação aos virtuais, expressando uma procura incessante de novos mundos, novos ambientes, novos contextos e de novas oportunidades. A crescente importância dos dispositivos utilizados como interface homem-máquina (H2M) ou máquina-máquina (M2M) fomentam a interação com o mundo virtual. A inclusão de calculadoras tradicionais, calendários em papel, câmaras, despertadores ou álbuns de fotografias, foram virtualizados pela tecnologia de *smartphone* (Vaz, 2012).

A interação com o mundo físico cede gradualmente espaço a uma crescente tendência no contexto do meio virtual, para tal afirmou Leadbeater (2004) “*Precisamos de sistemas, plataformas e serviços que permitam às pessoas interagir de forma eficaz e agradável. Estes novos meios e infraestruturas vão exigir tecnologia e muito mais*”. Esta junção é um fator determinante na evolução do intercâmbio social, económico, tecnológico e cultural das populações.

O setor automóvel não pretende que as populações utilizem com menor frequência os seus veículos, no entanto é isso que se está a verificar nos países desenvolvidos. A média de quilómetros percorridos *per capita* atingiu o seu pico em 2004 nos Estados Unidos, declinando de forma constante desde então (Dutzik e Baxandall, 2013). Os motivos ainda não são inteiramente claros: o declínio começou antes da recessão de 2008, continuando na mesma toada mesmo após a economia demonstrar alguma recuperação. Os preços dos combustíveis são certamente um dos fatores, mas a constatação dos autores evidenciam a particularidade de os períodos de férias demonstrarem que a quantidade de americanos que agora efetuam compras *online* não tem parado de crescer. Inclusivamente os adolescentes (geração dos

milenarios) dos EUA mostraram um declínio no interesse em conduzir, de acordo com as estatísticas sobre a idade em que os americanos obtêm a sua carta de condução (Nicks, 2016).

O Skype, o Facebook, o correio eletrónico entre outros aplicativos de comunicação reduzem ainda mais a necessidade de nos deslocarmos fisicamente para comunicar. O trabalho, também se está a adaptar, tornando-se em diversas áreas inclusivamente virtual à medida que as pessoas utilizam de uma forma crescente as redes *online* para se conectar de forma produtiva sem necessitar de um escritório convencional com espaço físico. O Nest Labs, uma *start-up* adquirida pela Google, já mostrou que é possível. A empresa transformou um equipamento tradicional e analógico - o termostato - numa plataforma digital inteligente que se ajusta aos padrões de vida fornecendo serviços dinâmicos de energia e segurança (Wolsen, 2014).

Qual o próximo passo? Os objetos do dia-a-dia, como óculos, chaves, dinheiro e carteiras, já são uma realidade. Os carros e camiões necessitam de motoristas? Os drones devem de enviar pacotes de encomendas? A IBM e outros sistemas especializados podem fornecer melhores soluções de manutenção e mais seguros em configurações industriais (IBM, 2018)? Este será um dos aspetos a abordar no capítulo seguinte da Indústria 4.0.

4.5.6. Desafios da integração

A gradual complexidade dos sistemas, exigem métodos e testes no intuito de determinar com certeza se um processo funciona e qual o seu grau de fiabilidade. Atualmente diversos tipos de testes podem muito bem ser realizados através de modelos de computador. Por exemplo, os laboratórios nacionais dos EUA, Lawrence Livermore e Los Alamos e Sandia, mantiveram as capacidades nucleares do país sem testar ogivas reais durante décadas, utilizando métodos computacionais avançados (Cohen *et al.* 2017).

Agora, as empresas podem implementar essas mesmas técnicas para acelerar o desenvolvimento de produtos. Os fabricantes de baterias podem testar o desempenho dos seus produtos em laboratório (Argonne, [s.d.]) por milhares de horas, numa ampla gama de condições operacionais, acelerando dramaticamente a inovação de produtos.

Por exemplo, quando a ATMI, uma empresa de tecnologia de materiais, desenvolveu um método alternativo para extrair o ouro dos resíduos eletrónicos ao invés dos métodos tradicionais de fundição ou banhos de ácidos tóxicos recorreu à modelagem computacional de química combinatória (Fowler, 2014). O processo resultante consiste numa solução à base de água, segura para consumo e substancialmente menos dispendiosa do que os métodos tradicionais. Além disso, o processo permite que os chips de computador coletados sejam reutilizados, uma vez que não são expostos a altas temperaturas ou ácidos (a solda tóxica é coletada como subproduto). O equipamento pode até ser colocado num camião para processamento de resíduos eletrónicos em locais específicos de recolha. Uma revolução de recursos despoletará gradualmente um conjunto de soluções mais acessíveis e simultaneamente mais eficientes. A revolução dos recursos representa uma das maiores oportunidades comerciais, no entanto, o sucesso exige novas abordagens. As empresas que oferecerem

melhorias substanciais de produtividade dos recursos existentes tornar-se-ão as grandes empresas do século XXI.

4.6. O intangível nos *smartphones*

As inovações desenvolvem-se modificando a forma, o peso e a aparências segundo uma determinada necessidade. As tecnologias muito contribuem para tal, assim como as matérias-primas que as compõem, no entanto uma componente intangível cresce neste novo contexto.

Das inovações que registaram maiores índices de difusão a uma escala planetária é sem dúvida o telemóvel que atualmente já não se restringe a um simples telefone (Vaz, 2012). Atualmente o número médio destes dispositivos já supera largamente o número de utilizadores a nível global. Se tivermos em consideração que no ano de 1995 somente uma em cada cem pessoas dispunha desta inovação, passando para cerca de cinquenta em 2007 atingindo praticamente toda a população em 2015 (World Bank, 2017) dá que pensar. Estes equipamentos móveis de comunicação têm no entanto alterado gradualmente o tipo de tráfego baseado nas comunicações de voz para uma utilização mais intensiva de aplicativos. Neste caso, os protagonistas são os *smartphones* que em 2007 registaram 124 milhões de unidades vendidas passando para os 1,47 mil milhões em 2016 com um valor de mercado avaliado em cerca de 418 mil milhões US\$ (IDC, 2017a). Globalmente o número de utilizadores não tem parado de crescer cifrando-se nos 3,8 mil milhões em 2016, prevendo que esse valor deva ascender os 5,8 mil milhões impulsionados pelas economias em desenvolvimento até ao ano de 2020. (Credit Suisse, 2016).

Um grande mas curto trajeto foi percorrido neste período, já sem falar na quantidade de dados e informações (intangíveis) que tem proporcionado, como mencionado anteriormente através da utilização de diversas aplicações por parte destes fabricantes numa ampla gama de fornecedores de redes, de tecnologias, de componentes e de *software*. Embora o crescimento verificado no mercado tenha sido consistente o mesmo não se aplica aos seus propulsores que se sucedem por não se adaptarem às sucessivas mudanças e tendências. Inicialmente as vendas eram lideradas por empresas como a Nokia ou a BlackBerry sendo destronadas em 2011 pela Apple e pela Samsung representando atualmente 57% e 25% respetivamente da quota de mercado (IDC, 2017b).

Entretanto novos intervenientes irrompem como a Huawei, uma marca que ganha visibilidade só no ano de 2010, ocupando já em 2015 o terceiro lugar a nível global. O valor médio de venda (ASP - Average Selling of Smartphones) do *smartphone* diminui no período compreendido entre 2007 e 2011 dos 425 US\$ para os 286 US\$ em 2016. Reflexo da crescente concorrência asiática com produtos menos onerosos em segmentos como o médio e o médio-baixo (Abrams *et al.*, 2017) São diversos os novos intervenientes por essas paragens como o Xiaomi, o Oppo e o Vivo, que embora pouco conhecidos no ocidente ocupam posições de destaque a nível global entre as 10 empresas com maior volume de vendas a nível global (IDC 2017b).

4.6.1. O *smartphone* na cadeia de valor

A inovação na cadeia de valor envolve um longo percurso e diversos estágios, iniciados pela investigação e desenvolvimento (I&D), seguido pelo *design*, pela produção, pela montagem finalizada pela distribuição e comercialização. Os intervenientes tentam potenciar a inovação para captar o maior dividendo possível ao longo de toda a cadeia.

Devezas (2009) define a inovação como a exploração bem-sucedida de novas ideias, ou seja, não é a ideia em si mesma mas sim o uso que se faz dela. Segundo o autor como regra geral a sua introdução no mercado tem como principal objetivo a maximização de um ganho quantitativo, usufruindo dos benefícios de uma vantagem competitiva, crescente fração de mercado, maior taxa de crescimento ou redução de custos. Para que ocorra uma inovação tecnológica deve de existir interações entre o sistema económico de produção e a comunidade científica (Utterback e Abernathy, 1974). Do processo de incorporação ao sistema económico, desde a invenção à inovação é designado por processo tecnológico numa sequência que envolve a ciência, a invenção e finalizada pela inovação que gera novamente receitas para investimentos em I&D (ciência). Os estágios ou etapas que compõem esta sequência foram classificados por James Bright (1968) conforme a seguinte ordem: a descoberta científica; a viabilidade laboratorial; o protótipo operacional; a introdução comercial; a adoção generalizada; a difusão para outras áreas e finalizado pela avaliação do impacto socioeconómico.

Em 2016, as marcas de referência e bem-sucedidas a nível global neste setor em termos de unidades vendidas de *smartphones* foram encabeçadas pela Samsung Electronics representando 21,1% do mercado, seguido pela Apple com 14,6% e pela Huawei Inv. & Holding CO. com 9,5% (IDC, 2017b). Para tal o investimento em I&D torna-se chave em todo o processo sobretudo em empresas líder do setor. No intuito de medir a intensidade em I&D, a Comissão Europeia (2017) elaborou um estudo comparativo englobando diversos setores industriais assim como do crescimento anual desta componente ao longo dos anos. Neste contexto as marcas entre as referidas que apresentaram maiores investimentos entre o ano de 2015 e o de 2016 foram proporcionados pela Samsung com 12 528 milhões de euros, seguida pela Huawei com 8 358 milhões de euros e pela Apple com 7 409 milhões de euros. No entanto, as receitas advindas desta componente têm maior expressão para a Huawei com 15%, seguido pela Samsung com 8% e pela Apple com 3,5%.

O contributo desta inovação (*smartphone*) tendo como foco os ativos intangíveis na cadeia de valor foi realizada para o relatório do WIPO (World Intellectual Property Organization) chefiado por Carsten Fink (WIPO, 2017). As estimativas derivam da subtração dos custos dos intermediários e mão-de-obra direta ao longo dos vários estágios da cadeia de valor sobre o preço de venda final de cada equipamento. O lucro bruto acumulado na cadeia de valor resulta de uma compensação dos cálculos de retorno pelos ativos intangíveis como mencionado anteriormente por Chen e Graedel (2017). Este estudo abarca três equipamentos específicos lançados em 2016 e líderes deste sector de mercado como o *Iphone 7*, o Huawei P9 e o Samsung Galaxy S7.

O método anteriormente utilizado por Dedrick *et al.*, (2008) foi apresentado no MIT, sob a perspetiva de quem beneficia da inovação na cadeia de valor, aplicado a dois dispositivos móveis, o *iPod* e o portátil. Posteriormente, Barrera-Orsorio e Linden (2009) elaboram um estudo sobre os *smartphones* e as atividades envolvidas desde o material utilizado ao consumidor final, em 2009.

A percentagem dos custos associados em cada estágio da cadeia de valor sobre o preço de venda final para cada dispositivo em análise é proposto por Dedrick e Kraemer (2017).

Tabela 35. Comparativo do valor percentual por estágio na cadeia de valor entre três modelos de smartphones, produzidos por empresas líderes de mercado no ano de 2017.

	Apple iPhone 7	Samsung Galaxy S7	Huawei P9
Custo do material	22%	23%	20%
IP licenças	5%	5%	5%
Distribuição e comercialização	15%	20%	15%
Outros	16%	18%	18%
Lucro	42%	34%	42%

Os materiais utilizados nos *smartphones* abordados no capítulo anterior dão forma a cerca de 1 500 a 2 000 componentes físicos neste tipo de equipamentos que representam somente 20% a 23% dos custos totais. O ecrã sensível ao toque é sem dúvida o mais oneroso elemento dos materiais que o constituem com cerca de 20% do custo total (Rassweiler et al., 2017). Seguido pelo processador com uma média de 14%, da memória para armazenamento com 12%, da caixa com 8%, da bateria com 5%, sendo os restantes custos partilhados por outros componentes como a câmara, os circuitos impressos e sensores, entre outros além da respetiva montagem. Resultando num aumento da variedade de materiais que compõem este tipo de equipamentos como abordado no capítulo anterior.

A Apple Inc. captura uma grande fatia dos lucros globais na indústria por produzir exclusivamente modelos topo de gama embora seja responsável por apenas 12% das vendas globais deste tipo de equipamentos. Registrando cerca de 92% da receita total operacional numa análise comparativa entre os oito maiores fabricantes mundiais de *smartphones*, a Samsung ficou-se pelos 15%, afirmou Ovide e Wakabayashi (2015). Estes benefícios advêm essencialmente de investimentos em I&D, *design* e outros ativos intangíveis sendo neste caso excluídas receitas advindas de conteúdos e serviços realizados no pós-venda (Investor Relations, 2016).

A estratégia da Apple passa por agregar e fornecer desde os equipamentos, os serviços com conteúdos e padrões relacionados que agrupam produtos e funcionalidades de forma eficiente (Korkeamäkie e Takalo, 2012; Garcia-Swartz e Garcia-Vicente, 2015). Este contexto proporciona uma visão do conceito em formato de curva segundo o qual ao longo do ciclo de vida do produto, a marca, o *design*, a distribuição, o marketing e os serviços pós venda adicionam maior valor ao invés da produção baseada em mão de obra intensiva que se

transforma no parente pobre de todo o processo, como se pode verificar no capítulo seguinte na curva sorridente (The Smiling Curve), de Stan Shil (2010) *Figura 4.*, *pág. 294.*

4.6.2. Análise comparativa do telemóvel entre 1973 - 2005 - 2017

Um telefone móvel atualmente reconhecido como telemóvel, é um telefone portátil que pode fazer e receber chamadas através de um *link* de frequência de rádio enquanto o utilizador se move (no interior como no exterior) dentro de uma área de serviço telefónico. O *link* de frequência de rádio estabelece uma conexão aos sistemas de comutação de um operador de telemóveis, que fornece acesso à Rede Pública Telefónica Comutada (RPTC ou PSTN do inglês *Public Switched Telephone Network*). Os serviços modernos de telemóveis utilizam uma arquitetura de rede celular. Além do serviço de comunicações por telefone, os telemóveis da era dos anos 2000 suportaram uma variedade de outros serviços, como relógio, calendário, mensagens de texto, SMS, e-mail, acesso à Internet, serviços de meteorologia, comunicações sem fio de curto alcance (infravermelho, *bluetooth*), aplicativos de negócios, jogos de vídeo e fotografia digital. Os atuais telemóveis que oferecem recursos de computação altamente avançados são denominados de *smartphones* ou seja são telemóveis com um sistema operativo que combina recursos de computadores pessoais, com funcionalidades avançadas que podem ser estendidas por meio de programas aplicativos.

A disponibilidade de materiais e componentes exigidos para o fabrico de artigos ou modelos deste segmento é relativamente confiável, no entanto possíveis flutuações no fornecimento, na oferta ou a procura do mercado atual podem causar escassez e afetar os resultados da produção. Qualquer rutura de material de um único fornecedor (se for o caso) pode ter um impacto adverso nos resultados das operações. Por outro lado é reconhecido que cada vez mais pessoas se unem à sociedade global da informação e o número de dispositivos eletrónicos cresce de dia para dia. Os dispositivos eletrónicos utilizados por milhões de consumidores aparentam ser constituídos cada vez mais por uma maior variedade de matérias-primas e por inúmeros (grandes e pequenos) componentes. Essas matérias-primas possuem características especiais, que vão desde a condutividade superior a propriedades isolantes incomparáveis, que as tornam perfeitas para a aplicação em EEE. Um estudo publicado por Gutowski *et al.*, (2017) aponta mesmo para os altos níveis de utilização de materiais na sociedade, investigando as tendências históricas e atuais, mostrando as correlações entre o uso de mais materiais e diferentes medidas de bem-estar humano. Consequentemente também o e-lixo adquire proporções nunca antes imaginadas. Estas tendências são decorrentes do aumento dos rendimentos de países em desenvolvimento. Mesmo nestes países existem mais do que um dispositivo de tecnologia da informação e comunicação (TIC) por pessoa. Mas também porque os ciclos de vida ou de substituição são mais curtos para telemóveis, *smartphones*, *iPads*, portáteis, computadores, entre outros dispositivos.

Vamos de seguida decompor 3 modelos diferentes em épocas, nomenclaturas e funções, mas muito semelhantes no intuito, ou seja comunicar à distância:

4.6.2.1. Telefone móvel Dynatac 8000X

Os primeiros esforços da rede móvel tiveram início no Bell Labs e com pesquisas realizadas na Motorola. A Motorola apresentou a linha de telefones móveis DynaTAC em 1972, porém, a Comissão Federal de Comunicações (FCC - Federal Communications Commission) dos EUA não aprovou o produto, alegando possível monopólio de mercado (Bol, 2017).

Em 1973, o primeiro celular da Motorola pesava 1 135 kg. A DynaTAC (abreviatura de "Cobertura de área total adaptativa dinâmica") corresponde a uma série de telefones móveis fabricados pela Motorola, Inc. de 1983 a 1994. O telefone móvel comercial Motorola DynaTAC 8000X recebeu a aprovação da US FCC em 21 de setembro de 1983 (Motorola, 2011). Em 1984, o primeiro dispositivo comercial Dynatac 8000X pesava aproximadamente 900g, possuía uma autonomia em cerca de 10 horas e oferecia 30 minutos de tempo de conversação. Mais tarde surgiu uma tela LED para discar ou efetuar *recall* de um dos 30 números de telefone (RedOrbit, 2018). No ano de lançamento comercial (1984) foi cotado em US \$ 3.995, o equivalente a US \$ 9.410 em 2017 (*Federal Reserve Bank of Minneapolis Community Development Project, 2018*). Vários modelos se seguiram, continuando com atualizações periódicas de frequência crescente até ao clássico II de 1993. Durante o seu auge foi símbolo da riqueza e do futurismo. (Wikivisually, 2018). O DynaTAC já era considerado obsoleto, quando foi substituído pelo Motorola MicroTAC em 1989.

Tabela 36: Listagem de materiais utilizados nos dispositivos (telefone móvel, telemóvel e smartphone).

Data	1973	2005	2017
Nome	Dynatac 8000X	Nokia 1100	Iphone7
MATERIAIS	Vidro Cerâmica Papel Metais (cobre, ferro, entre outros, ND*), Silício Borracha e resinas ou plásticos (baquelite).	Vidro Cerâmica Metais & Minerais: o cobre, o ferro, o níquel, silício, a prata e o zinco. Pequenas quantidades de alumínio, ouro, chumbo, manganês, paládio, platina e estanho. Borracha e resinas/plásticos.	Vidro de safira Metais & Minerais entre outros: Lítio, cobalto, grafite, alumínio, potássio, estanho, índio, carbono, terras raras (cério, neodímio, európio, ítrio, lantânio, praseodímio, gadolínio, térbio e, disprósio), silício, fósforo, antimónio, arsénio, boro, gálio, cobre, ouro, prata, platina, paládio, tungsténio e tântalo. Oxigénio. Borracha e resinas/plásticos.

*Não Disponível.

Uma variedade de matérias-primas eram utilizadas para fazer os telefones precedentes ao Dynatac 8000X. Os materiais variam entre componentes de vidro, de cerâmica, papel, metais (cobre, ferro, entre outros), borracha e resinas/plásticos. Os componentes primários na placa

de circuito eram feitos de silício. O invólucro exterior do telefone é tipicamente feito de um polímero forte e resistente a alto impacto como a baquelite (uma resina sintética bastante duradoura e resistente). Os altifalantes requeriam materiais magnéticos (Madehow, 2018). O Dynatac manteve a mesma linha (à exceção da baquelite que foi substituída por polímeros mais recentes.)

4.6.2.2. Telemóvel (Nokia 1100 - 2005)

Em 1994, uma unidade da Nokia ainda correspondia a uma massa de aproximadamente 600g. Em 1998, a empresa já possuía dispositivos que pesavam apenas 170 g (Vaclav, 2014). O ELC - Environmental Literacy Council (2004) reportou que o peso de um telemóvel típico no início dos anos 2000 era de 219g (Environmental Literacy Council (2004). Em 2005, um típico telemóvel pesava cerca de 113g, excepto a bateria e o carregador de bateria (Bouma, 2005). Os metais incluídos na estimativa eram principalmente o cobre, o ferro, o níquel, a prata e o zinco com pequenas quantidades de alumínio, ouro, chumbo, manganês, paládio, platina e estanho. O Nokia 1110, com apenas 80g, foi lançado em 2003 tendo sido um dos dispositivos móvel de telecomunicações mais cobijado de todos os tempos, vendendo cerca de 250 milhões de unidades (The telegraph, 2017).

Os telemóveis são objetos relativamente pequenos, assim sendo as quantidades de material que podem conter são também elas pouco expressivas. No entanto, quando ficam obsoletos e se juntam a milhares de outros telemóveis, as quantidades e o valor dos metais tornam-se significativos. Em 2005, a empresa Falconbridge Ltd⁴⁹ estimou que uma tonelada métrica de telemóveis obsoletos correspondiam a 149kg cobre; 3,14kg de prata, 300g ouro; 139g de paládio e 3 g de platina (Bouma, 2005). O plástico e o vidro também podem ser reciclados. O número de telemóveis fora de uso, nos EUA, para o ano de 2005 foi previsto em 500 milhões (Most, 2003).

4.6.2.3. Smartphone (iPhone 7 - 2017)

No primeiro mês do ano de 2007, a Apple lançou a primeira versão do *iPhone* com um peso de 135g, dimensões de 115 x 61 x 11,6 mm. Os novos telemóveis ou “telefones inteligentes” são mais finos (média de 22 mm em 2000, 14 mm em 2010), mas os ecrãs são cada vez maiores (3,75 cm em 2000 e 7,5 cm em 2010) (GSM Arena, 2013). Apresentado como “o mais fino de sempre”, o *iPhone* 5 em 2012 possuía uma massa de 112g e display com 7,5 cm (Apple, 2012). Tal facto assinalou uma revolução no mercado global de *smartphones*, graças à introdução de recursos inovadores, como teclados virtuais, *interfaces* com ecrã sensível ao toque e mais de 200 novas funcionalidades o que incentivou a concorrência a desenvolver novos produtos e sistemas operacionais para responder aos interesses do mercado. Tupy (2012), criou

⁴⁹ A Falconbridge Limited era uma empresa de recursos naturais com sede em Toronto no Canadá, com filiações em 18 países, envolvida na exploração, mineração, processamento e comercialização de produtos metálicos e minerais, incluindo níquel, cobre, cobalto e platina. Em junho de 2005, a Falconbridge fundiu com Noranda, mantendo o nome até 2006 quando foi adquirida pela Xstrata. Atualmente pertence à Glencore PLC.

uma lista de 16 dispositivos ou funções que são substituídos pela aplicação instalada num *iphone*: câmara, *e-mail*, rádio, telefone, alarme, tempo, calendário, jornal diário, álbum de fotografias, *video recorder stereo*, mapas, *DVD player*, rolo-dex (lista de contactos), TV, máquina fotográfica, gravador de voz e bússola (Vaclav, 2014).

A Apple já lançou nove gerações do *iPhone* até agora e grande parte do sucesso deste equipamento pode ser atribuído à capacidade da empresa de manter o produto competitivo ao longo dos anos, com novos lançamentos e atualizações. As vendas de *iPhone* subiram de cerca de 40 milhões de unidades vendidas em 2010 para mais de 210 milhões de *IPhones* vendidos apenas em 2016, o que se traduziu em mais de 54 mil milhões de dólares americanos em receita para a Apple apenas no quarto trimestre de 2016. A participação do *iPhone* na receita total da empresa saltou de cerca de um terço em 2009 para cerca de dois terços da receita global em 2016. A última geração da Apple, o *iphone 7*, um dos modelos (o mais pequeno) possui um ecrã de 4. 7" (polegadas), pesa 138g e as suas dimensões correspondem a 138,3 x 67,1 x 7,1mm. (Apple, 2017).

Dos 83 elementos estáveis (não radioativos) na tabela periódica, pelo menos, 70 deles podem ser encontrados em *smartphones*, embora os dados sejam dispersos e pouco esclarecedores quanto à nomenclatura/percentagem da utilização de cada um deles por dispositivo, variando conforme as marcas e os modelos, mantidos sob o "segredo dos deuses". Correspondem a aproximadamente 84% de todos os elementos estáveis. Os metais são o que dão origem aos *smartphones* "inteligentes". Um *smartphone* médio pode conter até 62 tipos diferentes de metais (Rohrig, 2015), (Kessel, 2017) e (Desjardins, 2016a). Alguns destes elementos são compostos essencialmente:

Caixa/Ecrã: o estojo do *iPhone* utiliza alumínio com uma camada externa anodizada para proteção extra. Esta camada tem apenas cinco micrómetros de espessura, sendo mais fina do que a tinta. O vidro de aluminossilicato é bombardeado com íons de potássio para resistir e silício. Enquanto isso, uma camada de óxido de estanho, índio para tornar a capacidade do ecrã sensível ao toque, carbono, oxigénio e pequenas quantidades de terras raras - elementos algo abundantes na crosta da Terra, mas extremamente difíceis de extrair economicamente - tais como cério (58 Ce), neodímio (60 Nd), európio (63 Eu), ítrio (39 Y), lantânio (57 La), praseodímio (59 Pr), gadolínio (64 Gd), térbio (65 Tb), disprósio (66Dy), que permitem a presença de certas cores no visor/ecrã mas que também são utilizados nos circuitos do telefone e nos altifalantes (Greene 2012b; MIT, 2011; Rohrig, 2015). Um único modelo de *iPhone* contém oito metais diferentes de terras raras. Se forem examinados várias variedades de *smartphones*, podem encontrar-se até 16 dos 17 metais das terras raras. O único que não será encontrado é o promécio (pm), porque é radioativo.

Bateria: O *iPhone* usa elementos de lítio e óxido de cobalto (LiCoO₂) no seu cátodo, sendo que 60% deles são feitos de cobalto. Ele também usa um ânodo de grafite e uma caixa de alumínio.

Sistema Eletrónico: O chip processador é feito principalmente de silício, entre vários elementos como o fósforo, o antimónio, o arsénio, o boro, o índio e o gálio para fornecer-lhe propriedades elétricas superiores.

Sistema Micro-Elétrico: o cobre, o ouro, a prata, a platina, o paládio e o tungsténio são utilizados para conexões elétricas dentro do telefone.

Microcondensadores: regulam o fluxo de eletricidade com o tântalo.

Som e vibração: Altifalantes e fones de ouvido - para obter muitos sons de um lugar pequeno, são usados ímans de alta potência, de neodímio (terras raras), de ferro e boro. Os mesmos ímans também alimentam a função de vibração do telefone. Às vezes também contém quantidades menores de outras terras raras como o disprósio (Rohrig, 2015).

Câmara: Geralmente fabricado em vidro de safira.

Soldadura: É realizada em estanho, cobre e prata.

No Laboratório de pesquisa da Greenpeace (2007), um *iPhone* foi cuidadosamente decomposto em 18 materiais. Os componentes foram posteriormente encaminhados para um laboratório para análise de composição química. Esta análise centrou-se principalmente nessas substâncias regulamentadas pela RoHS da União Europeia Diretiva (2005/84/CE), que impede o uso de chumbo, cádmio, mercúrio, cromo (VI) e certos bromatos retardadores de chama em produtos elétricos e eletrónicos. Testes adicionais também foram realizados para certas outras substâncias perigosas e materiais, incluindo o plástico em PVC e o ftalato (tóxico) que os telemóveis geralmente contêm. Este estudo concluiu que os componentes testados pareciam ser compatíveis com o requisitos da diretiva RoHS da UE, na medida em que não foram detetados por exemplo vestígios de cádmio ou de mercúrio. O crómio e o chumbo foram detetados numa pequena proporção de amostras e em concentrações relativamente baixas. Uma das substituições mais consequentes foi precisamente as diretivas para equipamentos eletrónicos sem chumbo (Li *et al.*, 2006). No Japão, todos os e-produtos novos são fabricados livres de chumbo desde 2005, e nos EUA desde 2006. As ligas livres de chumbo (com estanho, prata e cobre) e adesivos eletricamente condicionais são usados em vez disso.

A Apple (Apple Environmental, 2018) gaba-se de estabelecer padrões rigorosos sobre os materiais utilizados nos seus dispositivos de modo a proteger os seus utilizadores e o Planeta (muitas vezes indo muito além do que é exigido por lei, segundo afirmam). No Laboratório de Testes Ambientais da Apple técnicos especializados em química e toxicologia testam substâncias potencialmente nocivas. Depois de identificadas as toxinas são removidas, limitadas ou substituídas por outros materiais, mais seguros. Os padrões estabelecidos para os fornecedores implicam o cumprimento da lista de Especificações de Substâncias Reguladas (RSS - Regulated Substances Specification) pela Apple. Exemplos flagrantes dessa medida sucederam-se com o chumbo no ano de 2006, eliminado na solda. Na composição do vidro de exibição o chumbo e em 2008, o arsénio. O mercúrio antes aplicado nas lâmpadas fluorescentes

de ecrãs foi eliminado em 2009, passando a utilizar LEDs e OLEDs com eficiência energética. O berílio encontrado em ligas de cobre (para conectores e molas) foi retirado de todos os novos projetos da Apple. Assim como com o PVC e ftalatos substituídos por elastómeros termoplásticos mais seguros e os BFR (Bromados Retardantes de Chama) foram eliminados de milhares de peças, como invólucros, placas de circuito e conectores (em 2008) substituídos por hidróxidos de metais e compostos de fósforo.

4.6.3. Patentes

Este tipo de dispositivos tem proporcionado um número muito significativo de patentes como parte integrante do modelo de negócio. Nos EUA representam cerca de 27% do total das patentes atribuídas em 2016, superando os indicadores de 2012 que já abarcava cerca de 20% contra os 10% verificados em 2002, (Chetan Sharma, 2016). Os *smartphones* são compostos por diversas tecnologias, no entanto utilizadas em distintos dispositivos na área das TIC que migram tendencialmente para outros tipos de produtos exigindo conectividade desde veículos, sistemas de climatização ou de segurança, entre outros. No caso do *bluetooth*, definido segundo o dicionário da Oxford (Oxford Living Dictionaries, 2018) como um padrão para a interconexão sem fios de curto alcance para dispositivos eletrónicos, originaram mais de 30 mil detentores de patentes incluindo 200 universidades (Engstrom, 2017).

Uma questão pertinente ressalta desta explosão de patentes. Será que realmente incentivam o aparecimento de inovações ou se por contrário facilitam regras anti concorrenciais bloqueando o desenvolvimento tecnológico? As diversas marcas desenvolvem-nas internamente, no entanto posicionam-se também no mercado adquirindo-as como a Apple, a Sony ou a Microsoft, entre outras. É o caso verificado segundo o The Gardian, relativamente à carteira de patentes da Nortel que foi adquirida por estes gigantes da eletrónica (Arthur, 2011) e os exemplos sucedem-se por diversos outros operadores. Aparentemente não parece um fator na inibição do desenvolvimento tecnológico, todavia o aparecimento de novos intervenientes pode ser dificultado, sendo necessário mais estudos que o comprovem.

Os maiores detentores de patentes que envolvem os *smartphones* são liderados pela Samsung Electronics com 1 239 patentes (3,2%), seguido pela Apple com 810 (2,1%) e pela Qualcomm com 522 (1,4%) segundo a Wipo (2017). Os direitos respeitantes ao *software* e aplicativos situam-se no campo dos ativos intangíveis determinando uma grande parcela da fonte de receitas futuras. A Apple ao utilizar o seu próprio sistema operacional móvel exerce maior controlo do mercado a jusante como com a App Store que proporcionam cerca de 30% de receitas obtidas sobre o comercializado, afirmou Ranger (2015). Além do mais, os litígios relacionados com esta temática proporcionam avultadas indemnizações. Como o preconizado pela Apple sobre a Google que pagou só em 2017 cerca de 3 mil milhões US\$ pela utilização do mecanismo de procura padrão do Safari, pré instalados nos seus equipamentos móveis, assim como a Microsoft sobre a Samsung que teve de pagar direitos de cerca de 1 milhão de US\$ (Haselton, 2017). O sistema operativo Android tem um mecanismo diferente de funcionamento não tendo associado qualquer pagamento pelo uso, contudo necessitam de instalar todo o

ecossistema Google. Gerando receitas através de uma percentagem das vendas do Google Play Store e da exibição de publicidade aos seus utilizadores.

4.6.4. O design

O *design* tornou-se num dos aspetos fundamentais para os consumidores optarem por um determinado modelo em detrimento de outros. Englobando aspetos quer de índole intangível como o *software* assim como de funcionalidades físicas em termos de forma e aspeto exterior sendo fatores decisivos na compra e posterior fidelização à marca. Segundo estudo de Johnson e Scowcroft (2013), para a evolução no valor de mercado dos equipamentos no caso da Apple, o *design* desempenha um papel mais preponderante do que as patentes propriamente ditas. É conhecido no meio a disputa judicial que opõem a Apple e a Samsung desde 2012 sobre supostas infrações de *design* incluindo e com especial relevo a apresentação de ícones nos visores (Northern District California, [s.d.]). O caso arrasta-se após o Supremo Tribunal em 2016 ter revertido a primeira decisão do julgamento, ilustrando a incerteza jurídica associada à questão.

Nas economias que patenteiam em maior número aspetos ligados ao *design* entre 1991 e 2015 encontram-se países como o Japão com cerca de 40,5 mil, seguido por Taiwan com 23 mil, pela Alemanha com 15,3 mil e pela Coreia do Sul com 12,8 mil, segundo a U.S. Patent and Trademark Office (USPTO, 2016). Esta temática aplicada exclusivamente aos *smartphones* é de difícil contabilização por vários tipos de razões. Em primeiro lugar não existe esta categoria específica na Classificação Internacional para o *design* industrial no âmbito do Acordo Locarno (WIPO, [s.d.]). Além do mais diversas patentes são utilizadas simultaneamente em diversos tipos de dispositivos de uma forma transversal, podendo abarcar desde o computador pessoal, ao relógio, ao telemóvel assim como o frigorífico, o fogão ou a câmara de vídeo.

Uma nomenclatura foi utilizada pela USPTO (classe D14), através de um padrão de interconexão sem fios de computadores, telemóveis e outros dispositivos eletrónicos para classificar esta vertente. Outras abordagens similares foram encetadas pela EUIPO, (European Union Intellectual Property Office) com a diferença de que este conjunto de dados agregam todos os aplicativos para as classes, 14/03 (Equipamentos de comunicação, controlo remoto sem fios, amplificadores de rádio) assim como para a 14/04 (visor, ecrã e ícones). Entre as empresas que se destacam nos indicadores da USPTO e do EUIPO, temos a Apple e a Samsung com especial ênfase entre os anos de 2012 e 2013, provavelmente pelos diferendos judiciais que as opuseram nesse período como mencionado anteriormente (EUIPO, 2013). A quantidade de registos é encabeçada pela Samsung, contudo convém frisar que este grupo é mais um conglomerado de empresas da área eletrónica que abarca uma maior diversidade de equipamentos.

4.6.5. A marca

O valor da marca muito reforçado pelo *marketing* e pela publicidade torna-se num elemento chave na identificação de símbolos e valores intangíveis agregados frequentemente

associados a um estatuto ou um estilo de vida de quem as possui. A importância das marcas é abordada no Relatório Mundial de Propriedade Intelectual pela WIPO (2013) como um ativo intangível na alavancagem dos preços, inclusivamente nos smartphones. Demonstrando desempenhar um papel importante na interpretação dos lucros em toda a cadeia de valor. A Apple a Samsung e mais recentemente a Huawei investiram somas avultadas em marketing e publicidade para dar maior visibilidade ao esforço exigido em I&D das inovações propostas, elevando o valor das marcas registadas como um todo numa perspetiva global além-fronteiras.

4.6.6. A tecnologia

Longe vão os tempos em que o primeiro aparelho de comunicação sem fios foi lançado pela Motorola em 1973. Estes dispositivos dependem no entanto e em larga medida de diversas tecnologias subjacentes como os processadores que por si só já têm uma longa história. No entanto só em 1999 o mercado dá alguma visibilidade a estas tecnologias com a introdução de um novo equipamento apresentado pela empresa nipónica NTT DoCoMo (Sako, 2001). Em 2007, a Apple alcançou um novo patamar com o seu *iPhone*, seguido pela Samsung em 2009 e um pouco mais tarde pela Huawei. Todavia, foi a Apple que definiu o *design* dominante para este tipo de dispositivos, sendo caracterizado pela literatura sobre inovação como um marco importante já que a competição posterior se baseia nesses parâmetros de projeto. Antes de entrarem no mercado de *smartphones* estas três empresas tinham em comum as origens e a capacidade inovadora nas áreas das novas tecnologias potenciando ativos intangíveis.

A Apple iniciou a sua atividade no final da década de 1970 tendo como foco a informática desenvolvendo também conhecimentos no campo das impressoras, dos *displays* e de tecnologias de rede. Mais tarde, em 2001 desloca os seus esforços para o *iPod* na vertente audio, utilizando *software* como o *iTunes* que coincidiu com a introdução do *iPhone* e do *iPad*. Mais recentemente foi anunciado o lançamento de três novos *smartphones* sob a designação de *iPhone X* (Rai e Nellis, 2018) por parte desta empresa assim como pela Samsung com os modelos S9 e o S9 Plus (Kelly, 2018) em que ambas as empresas já incorporam funções para a Realidade Aumentada (RA) nos seus dispositivos.

A Samsung Electronics como parte integrante de um conglomerado de empresas do setor tecnológico iniciou a sua atividade como fornecedor de componentes para outras empresas na década de 1980 ligadas às telecomunicações com *hardware* e telefones. No ano de 1996 encetou uma profunda transformação no desenvolvimento de produtos com marca própria (Yoo e Kim, 2015).

Por sua vez a Huawei iniciou esta atividade muito mais tarde tornando-se um dos líderes globais em redes de telecomunicações no ano de 2012. Canalizando grande parte dos seus proveitos em I&D que a colocam atualmente como uma das principais no setor. Estudos comprovam que esta rápida ascensão foi derivada às capacidades tecnológicas em detrimento do custo por si só dos equipamentos como afirma Bicheno (2017). Mais recentemente assiste-se a uma série de parcerias estratégicas com empresas como a IBM, a Siemens, entre outras do sector das telecomunicações (Joo e Lee, 2016).

Estas três empresas embora com percursos distintos foram coincidentes, porém no desenvolvimento de inovação e de valores intangíveis relacionados com a marca. Os índices atingidos na I&D foram determinantes com o objetivo de aumentar a produção de componentes tecnologicamente sofisticados como os chips, acarretando avultadas margens de retorno elevando-as para outro patamar.

A conjuntura foi favorável do ponto de vista do comércio internacional, beneficiando da abertura dos mercados no campo das tecnologias de informação através de acordos estabelecidos antes do virar do milénio, impulsionando a indústria dos telefones inteligentes, (WTO, 2018).

4.7. Os novos líderes intangíveis

As empresas como “organismos vivos” transportam consigo um conjunto de símbolos e de marcas ou o ADN que as caracterizam em função do desempenho e da avaliação da sociedade no meio. A confiança é fundamental e assenta em aspetos como a sustentabilidades dos negócios como fator decisivo repercutindo-se nas empresas e organizações, na imagem e até na viabilidade económica. É claro que as expectativas dos negócios estão a sofrer mutações tão rápidas quanto o meio em que se enquadram. Segundo um estudo de 2017, da Edelman trust Barometer (2017), refere que *“As empresas devem de encontrar formas de liderar”*, uma perspetiva de consenso que resultou da investigação. Cerca de 75% dos visados concordam que uma empresa pode tomar ações específicas que permitam aumentar os lucros e melhorar simultaneamente as condições económicas e sociais da comunidade onde atuam. Para Thomas e McElroy (2015) a abordagem da Responsabilidade Social Corporativa (Corporate Social Responsibility - CSR) como um custo acabou, transitando da era do “fazer bem para fazer o bem”. O equilíbrio entre o motivo do lucro com a criação de valor na sociedade está prestes a transformar-se numa condição prévia para que o sucesso a longo prazo de qualquer empresa ou entidade se projete a uma escala global.

A estratégia e a visão da Tesla por exemplo, não passa exclusivamente por produzir carros mas o de proporcionar mobilidade num contexto de alteração do paradigma energético e inerentes preocupações ambientais. Ou quando a Google batizou como um “momento histórico” no decorrer do anúncio de que os escritórios dos seus mais de 60 mil funcionários seriam abastecidos exclusivamente por energias renováveis a partir de 2017 (Vaughan, 2016). O mesmo tipo de procedimentos pode ser verificado na Apple quando promete produzir *iPhones* a partir de materiais reciclados (Kharpal, 2017). Estes procedimentos conjugados com o “saber estar” no mercado tem proporcionado vantagens e viabilizam uma mensagem perceptível mas global e pertinente face às crescentes preocupações ambientais.

Estas novas perspetivas não podem ser confundidas com caridade ou altruísmo termos referidos por Singer (2015), preconizadas por diversas organizações e empresas como a que pode ser associada às iniciativas de Bill Gates que em 2007 desafiou outros bilionários a doarem 40% da sua fortuna. Esse compromisso de doação reverteria em ações de beneficência ou

caridade. A causa tem conseguido arrebatar avultadas quantias monetárias através de diversas personalidades como Larry Ellison fundador da Oracle, Paul Allen co-fundador da Microsoft, John Doerr um investidor que ajudou a capitalizar empresas como a Apple e a Google. Incluindo personalidades mais diversas como George Lucas um produtor e realizador de cinema entre centenas de outras individualidades (ligadas às TI), sem esquecer obviamente o próprio Bill Gates.

Este acontecimento não pode ser dissociado de que no ano de 2006, das 6 empresas com maior valor de mercado só a Microsoft se intrometia entre os predominantes colossos da banca e do petróleo (The World's Biggest Companies, 2017). A esse facto não é alheio, o peso económico que adquirem estas empresas no mercado a nível mundial, inclusivamente como gerenciadores e difusoras de inovações que derivam do poder de adaptação ao meio envolvente, proporcionando vantagens e impactos diferenciados que se repercutem na sua valorização.

No ano de 2010, as duas empresas que encabeçavam o ranking eram do sector energético em primeiro lugar a PetroChina, precedida pela ExxonMobil, observando-se que das 10 empresas com maior valor de mercado apenas duas eram da área das novas tecnologias. Era o caso a Microsoft que ocupava o 3º lugar com um valor de mercado de 254,5 mil milhões de dólares e a Google na 10ª posição avaliada em 169,38 mil milhões de dólares, que mais que triplicou (3,4 X) a sua cotação em 7 anos, passando para os 579,5 mil milhões, o equivalente à 2ª posição (Alphabet, 2017) em valor de mercado no ano de 2017 (Forbes, 2017).

Neste ano, ao invés de 2006 registou-se precisamente o contrário ou seja, entre as 6 empresas com maior valor de mercado a nível mundial, cinco delas estão ligadas à esfera do digital e das novas tecnologias (TIC). A lista é liderada pela Apple (Apple, 2017) fundada em 1976 com valor de mercado avaliado em cerca de 752 mil milhões de dólares, seguida pela Alphabet, fundada em 2015 resultando de uma reestruturação da Google que foi fundada em 1998, pela Microsoft (2017), fundada em 1975, pela Amazon (Amazon, 2017) fundada em 1994 e em sexto lugar a recém-chegada Facebook (2017) fundada em 2004, com 407,3 mil milhões de dólares que ameaça destronar o quinto lugar da Berkshire Hathaway (2017), uma empresa de serviços de investimento com um valor de 409,9 mil milhões de dólares. É curioso verificar que a nível global, das vinte marcas mais valiosas (intangíveis), mais de metade sejam da área das TICs (Forbes, 2017). As três empresas com maior valor de mercado (Apple, Alphabet e Microsoft) correspondem sensivelmente à riqueza gerada pela soma das economias de 3 países durante um ano, neste caso (e.g.) Portugal, Espanha e Polónia (World Bank, 2018; Forbes, 2017).

Entre o ano de 2010 e o de 2017, surgiram vinte e duas novas empresas entre as 100 maiores empresas globais, sendo que 30% delas estão ligadas às telecomunicações, computadores, *software* e serviços. Estas empresas iniciadas frequentemente em garagens com capitais e recursos modestos alcançaram o estrelato entre as maiores para além de terem alterado a forma como vemos e interagimos através das suas inovações, acabando por mudar o mundo. Silicon Valley, a par de diversos outros centros de inovação, fomentaram e impulsionaram o aparecimento de diversos *clusters* tecnológicos a nível global, onde nas últimas

décadas surgiram empresas que mudaram o mundo, como a Microsoft na década de 70, a AOL na década de 80, a Amazon, a Yahoo e a Google na década de 90, o último registo é do Facebook, em 2004.

É curioso verificar que nos últimos 14 anos ainda não surgiu nenhuma grande empresa tecnológica de renome.

4.8. O fim das *startups* digitais?

Claro que surgem e vão continuar a surgir *startups*. Assim como as *unicorns*, um termo cunhado por Aileen Lee para descrever empresas *startups*, ou seja, com valor superior a mil milhões de dólares além de serem caracterizadas por critérios que abarcam, o financiamento, o crescimento acentuado das receitas e evidentemente uma avaliação superior a 1 000 milhões de dólares. Atualmente, são cerca de 200 empresas em todo o mundo (CBInsights, 2017), das quais cerca de 20% estão ligadas aos *e-commerces* e *marketplaces*, 13% a *software* e serviços de *internet*. A economia chinesa segundo Xiang no ano de 2017 já é a que alberga maior número de *unicorns*, mais precisamente 108, ou seja mais de 50% do total de empresas com estas características a nível global. Sendo lideradas pela Tencent Holdings, a Alibaba e a Baidu que por si só são constituídas por 22, 13 e 10 *unicorns*, respetivamente. São a indústria, o setor financeiro, a *internet* móvel, *on-demand* e O2O (*on-line-to-offline*), o comércio eletrónico e a IA - Inteligência Artificial os setores que proporcionaram o maior número de *unicorns*, representando cerca de 65% (Xiang, 2017).

Segundo Devezas (2005), o próximo ciclo económico será eventualmente liderado pela ascensão de uma nova ordem geoestratégica em consequência das pressões sobre o sistema capitalista vigente, destronando os EUA. Estes indicadores remetem-nos para uma abordagem da Oxford Martin School (Oxford, 2013), que conclui que se está a assistir (gradualmente) à deslocação do centro de gravidade económico mundial para o oriente.

Desjardins (2017) demonstra-o através de um esquema intitulado “2 000 anos de história económica num gráfico” by *Visual Capitalist*⁵⁰ que incluiu o impacto colossal da Revolução Industrial no ocidente, bem como o impulso por trás do ressurgimento da Ásia. Desde o ano de 2000 a China cresceu cerca de 86,9%. Durante milhares de anos, o progresso económico foi em grande parte linear e vinculado ao crescimento populacional. Sem máquinas ou inovações tecnológicas, uma pessoa só poderia produzir tanto quanto o seu tempo e recursos. Mais recentemente, as inovações em energia e na tecnologia permitiram que o efeito “*hockey stick*” entrasse em jogo. Primeiro, aconteceu na Europa Ocidental e na América do Norte e agora está a acontecer noutras partes do mundo. À medida que a tecnologia sobe de fasquia, economias como a China e a Índia - que já viveram tempos áureos ao longo da história - fazem o seu “grande” retorno.

⁵⁰ Jeff Desjardim é fundador e editor do *Visual Capitalist*, um site de media em investimentos e negócios. Colaborador do WEF - World Economic Forum.

Em oposição a essa corrente encontra-se a Uber, ainda considerada a maior *unicorn* a nível mundial e destacadamente a mais representativa do mundo ocidental. Revela aparentemente um futuro incerto após o CEO inicial⁵¹ ter abdicado da sua posição talvez pelo desgaste sofrido após diversos processos judiciais movidos à sua empresa um pouco por todo o mundo. Sendo precedida pela Airbnb que apresenta um valor de mercado inferior, pelo Facebook, tendo as restantes empresas valores ainda mais residuais e pouco significativas.

4.8.1. Será que já colheram toda a “fruta mais acessível”?

(...) Quando recordo o livro “O pioneiro da Globalização” (Devezas e Rodrigues, 2010) onde referem que os marinheiros portugueses abandonavam a sua zona de conforto para iniciar as arriscadas descobertas desbravando o desconhecido, é relativamente fácil estabelecer uma comparação com os novos pioneiros de empresas ligadas ao contexto digital e à *internet* que caracterizaram estas últimas décadas. Podendo proporcionar avultados dividendos num curto espaço de tempo por apanharem “a fruta à mão e mais acessível”, ocupando os melhores nichos de mercado. O crescimento económico também acontece em virtude da criação de um mercado totalmente novo. Resultado da introdução de um novo produto ou serviço. À empresa que origina esta rutura técnico-económica caberá o privilégio da exclusividade durante um certo tempo, levando-a a ganhos extraordinários (Schumpeter, 1957). As empresas TIC de tecnologias de informação e comunicação anteriormente consideradas exógenas ao aparelho produtivo transformam-se em endógenas, passando de elo a núcleo.

Por outro lado existem outros fatores a ter em consideração, nomeadamente a importância da experiência adquirida por estes gigantes da tecnologia. Aprimorando as suas capacidades de planeamento estratégico e de previsão, melhorando os seus desempenhos e simultaneamente antecipando ameaças ao seu domínio. Esse facto não parece novo já que a previsão de cenários é uma ferramenta utilizada há muito pela Shell, (Wilkinson e Kupers, 2013), que lhe conferiu um papel dominante chegando a proporcionar antes da crise do petróleo da década de 70, cerca de 10% do mercado global dos combustíveis mundiais.

Segundo um estudo sobre 77 grandes empresas, preconizada por Rohrbeck e Schwarz (2013), concluíram em primeiro lugar que os esforços formais de “prospetiva estratégica”, (definida como o estudo das causas técnicas, económicas e sociais que aceleram a evolução do mundo moderno), aumentam o valor através de uma capacidade aprimorada para perceber a mudança. Em segundo, para interpretar e responder às mudanças. Em terceiro, em influenciar outros atores e em quarto lugar uma capacidade aperfeiçoada de aprendizagem organizacional. Estes fatores têm supostamente proporcionando vantagens num mercado competitivo despoletando a sua predominância num enquadramento ao longo de um determinado espaço temporal.

⁵¹ Referente a Travis Cordell Kalanick (1976), empresário norte-americano. Co-fundador da empresa de *peer-to-peer* de compartilhamento de arquivos Red Swoosh e da empresa Uber, um aplicativo onde é contratado um serviço de transporte semelhante aos táxis convencionais. Renunciou ao cargo de CEO da Uber em 2017.

4.8.2. Aquisições e fusões, as inovações tipo *Pac-man*?

A expansão e o domínio progressivo dessas empresas dominantes deve-se também à aquisição de potenciais rivais, ainda e tanto quanto possível num estado embrionário. Este bloqueio limita a progressão individual fomentando o monopólio, resultando no controlo do mercado por um punhado de grandes e inovadoras empresas.

Inicialmente, quando a Google surgiu no mercado os utilizadores ficaram maravilhados com o que era possível descobrir ao alcance de um simples dedilhar. Posteriormente as pessoas queriam mais do que apenas texto e então surgiram as imagens e os mapas... A Google, que em 2005 adquiriu uma empresa de *software* para dispositivos móveis ainda pouco divulgada na altura designada por *Android*, aparentemente alicerçou as bases para o domínio em sistemas operacionais de *smartphones*. Transpondo posteriormente esta nova aquisição em 2014 como suporte deste novo contexto para o motor de busca que privilegia através dos algoritmos as pesquisas realizadas nos *sites* que estão preparados para plataformas móveis em detrimento das concebidas para os convencionais computadores pessoais. A esse facto não são alheios os dados sobre a diminuição comparativa de permanência dos utilizadores nos computadores para cerca de 40% do tempo, suplantados pelos dispositivos móveis com 60% e aparentemente com tendência para aumentar.

Em 2006, efetivou-se a aquisição por cerca de 1,65 mil milhões de dólares pelo YouTube que já se tinha transformado num dos *sites* mais populares da *internet*. Outro caso foi preconizado pelo co-fundador do Instagram que em 2012 ao invés de construir uma empresa independente preferiu aceitar uma oferta de mil milhões de dólares por parte do Facebook. Passados cerca de dois anos Zuckerberg adquiriu também a WhatsApp por 19 mil milhões de dólares. A sua visão assentava na importância estratégica que atribuía aos dispositivos móveis *touchscreen* ou *smartphones*, para onde foram canalizados os esforços prioritários da sua empresa (à semelhança do verificado na Google) em detrimento de os direcionar para os computadores pessoais como o verificado pela Yahoo, AOL, Sun Microsystems, entre outras, que perderam a sua importância face à incapacidade em se adaptar às novas mudanças tecnológicas. Atualmente estas empresas, caso se tivessem mantido independentes, poderiam facilmente ser grandes concorrentes do Google ou do Facebook ao invés de engrossar a lista de empresas do império destes colossos da tecnologia.

Embora estas grandes empresas estabelecidas de cariz tecnológico, ligadas à *internet* e ao mundo digital controlem a grande fatia do mercado, ainda proporcionam condições para o aparecimento de *startups* que tentam controlar nichos de mercado mas aparentemente tem-se revelado cada vez mais difícil de atingir os índices de crescimento anteriormente verificados.

4.8.3. O novo feudalismo das inovações digitais?

Também não parece descabido afirmar que muito se deve ao controlo exercido pelas empresas dominantes que controlam ou possuem as plataformas utilizadas pelas novas *startups* obrigando-as a segmentar os seus intentos para alcançar o público-alvo. Portanto, enquanto por um lado se verifica uma diminuição dos custos técnicos na conceção e construção de um

serviço *online*, em paralelo assiste-se um aumento dos custos na divulgação e em publicidade, na promoção das aplicações ou serviços para atingir os potenciais utilizadores, tendo como beneficiários diretos os habituais colossos digitais.

Inclusivamente as mais recentes empresas da *internet* como a Pinterest, a Square ou a Snap, provavelmente terão maiores dificuldades em proporcionar inovações tão revolucionárias e com o impacto social e económico que tiveram a Google, a Amazon ou o Facebook nos seus primeiros anos de vida. Mas nada de novo..., o mesmo se verificou nas décadas de 60 e 70 do século passado onde as inovações predominantes giravam nos semicondutores dando corpo aos colossos da época neste setor de atividade como a Intel, a IBM ou a Samsung que dominavam o mercado das TIC. Na década de 80 o dinamismo das inovações que assentavam em *softwares* para computadores pessoais proporcionou o aparecimento de empresas como a Microsoft ou a Adobe. Embora sendo bastante lucrativas não obstante reduziram substancialmente nos dias que correm as probabilidades no aparecimento de novas *startups* disputando o mesmo segmento de mercado.

Aparentemente chegámos a um ambiente semelhante relativamente às aplicações *online*, onde as inúmeras oportunidades proporcionadas pela *internet* ou por um *smartphone* já estão preenchidas pela Google ou pelo Facebook, que dominam as fatias de mercados mais apetecíveis e lucrativas.

A inovação é dinâmica, reconfigura-se, reinventa-se e seguramente prepara-se constantemente face às novas exigências quer ocultas, quer latentes do mercado.

4.9. Aparentemente algo de novo está a acontecer...

Será que o ADN das inovações está a mudar?

Tudo estava arrumado ...

Os automóveis eram produzidos pela indústria automóvel ...

Os conteúdos da televisão no sector dos media ...

A rádio no sector das telecomunicações ...

As lentes na área das óticas.

A iluminação...

Era relativamente simples definir e classificar os sectores em que as diversas empresas e organizações desenvolviam o seu ramo de atividade. Não era? Pois foi...

Num mundo em as empresas de cariz tecnológico já revolucionaram o sector dos media e o das telecomunicações, preparam-se agora para levar o seu ADN para outros domínios. O que sobrevive do velho conceito sobre os sectores de atividade industrial? O contexto mudou! O que é que a indústria tradicional ainda não percebeu?

Os construtores de automóveis temem a Apple?

A empresa A123 fabricante de baterias para veículos automóveis moveu uma ação contra a Apple sob o pretexto de aliciar os engenheiros-chave com o intuito de produzir um carro elétrico com piloto automático “Apple PAIL” (Wakabayashi, 2017; Painter, 2017) até ao

ano de 2021, violando o acordo de não concorrência. Este argumento é refutado pela estratégia de defesa alegando que a Apple pertence a um sector de atividade distinto (Musil, 2015).

Por sua vez, a Google, após um processo conturbado de avanços e recuos provocados por diversas ações judiciais inclusivamente pela Uber que se prolongam há mais de dez anos, e neste último caso sobre a possível obtenção de informações fraudulentas transferidas através de um antigo funcionário (Waymo, 2017) também pretende produzir veículos elétricos e sem condutor, tendo provocado reações similares dos fabricantes tradicionais como a Daimler que lembra que esta empresa não pertence ao sector, decidindo posteriormente fazer uma parceria estratégica com a FiatCrysler, aguardando-se novos desenvolvimentos.

Em paralelo, também pretende fabricar lentes de contacto “inteligentes” (Exame Informática, 2015), assim com produzir e comercializar energias renováveis já tendo inclusivamente obtido autorização por parte da Federal Energy Regulatory Commission (FERC), nos EUA (Público, 2010).

Será a Google um motor de busca, um produtor de energia, um construtor de veículos ou um relojoeiro (Tag Heuer, 2015).

Os sectores e delimitações da indústria tal como a conhecemos estão em plena transformação!

O comércio e os serviços tradicionais temem a Amazon? Nos Estados Unidos da América, após anos de declínio nas vendas tradicionais assim como na perda de clientes, foi anunciado o encerramento de 6 755 estabelecimentos comerciais até Julho de 2017 (Peterson, 2017a). Incluindo colossos do comércio tradicional como a Macy's que enquanto luta contra a desaceleração das vendas e a crescente concorrência *online* anuncia o encerramento de cerca de 100 lojas nos próximos 2 anos o que representa cerca de 15% do total do negócio (Peterson, 2017b).

Em contrapartida, a Amazon diversifica expandindo-se e entrando em novos mercados. O gigante da *internet* iniciou a sua atividade na venda *online* de livros, ainda assim verifica-se uma crescente diversificação por novos mercados tipo Amazon *home service* que consiste em interligar diversos serviços que vão desde o serviço do canalizador ao professor (The Economist, 2015). Inclusivamente com novos serviços que permitem realizar encomendas através de um botão na despensa (Público, 2015).

A primeira loja da Amazon.Go abriu em Seattle em Janeiro de 2018 (AmazonGo, 2018). A Amazon Go é um novo tipo de loja sem necessidade de pagamento em mão. Utiliza a tecnologia de compras mais avançada do mundo sem necessidade de esperar numa fila com o intuito de estar mais próximo dos consumidores, automatizando os processos de compra. Com o novo método *Just Walk Out Shopping*, basta utilizar o aplicativo Amazon Go para entrar na loja, pegar nos produtos que se desejam e sair! Sem pagamento, sem transação de dinheiro, de cartões de crédito, chips RFID, sem caixa registadora e emissão em papel de faturas/recibo. Esta experiência de compra gratuita é possibilitada pelos mesmos tipos de tecnologias utilizadas em carros auto-dirigidos: com centenas de pequenas câmaras, visão computacional e sensores. A tecnologia *Just Walk Out* deteta automaticamente quando os produtos são colocados ou

retirados das prateleiras e acompanham-no num carrinho virtual. O pagamento efetivo e o respetivo recibo é cobrado e posteriormente enviado, diretamente na conta pessoal do utilizador Amazon. Mais um exemplo de empresas ditas tecnológicas, que inovam transportando o seu ADN para setores de mercado mais tradicionais. (Amazon, 2018; Kurzweil, 2018).

As empresas e organizações devem prestar especial atenção em como as tecnologias digitais podem influenciar e perturbar os modelos de negócio existentes, inclusivamente alterar radicalmente o próprio mercado. A descoberta ou a previsão de uma nova tecnologia estimula o engenho humano na procura de novas aplicações decorrentes das limitações anteriormente estabelecidas. A sua utilização e implementação não estão dissociadas das suas características. Após ser progressivamente adotada em função das necessidades expressas ou manifestas no mercado, é posteriormente adaptada às exigências dos utilizadores implicando numa primeira fase a imitação ou substituição do existente, enquanto numa segunda fase conduz ao reequacionar da solução como um todo.

As inovações baseadas exclusivamente na componente digital, lideradas por operadores inovadores como o Facebook (2017), que ocupa o 4º lugar entre as empresas com maior valor de mercado. Fundada em 2004 por Mark E. Zuckerberg, é uma empresa digital de redes sociais com serviços que incluem aplicativos para dispositivos móveis incluindo Instagram, Messenger, Whatsapp... Assim como o motor de busca do Google, a atual Alphabet (2017), que ocupa o 2º lugar ou a Tencent Holdings (2017) a ocupar o 10º lugar, fundada em 1999, o maior e mais utilizado portal de serviços de *internet* chinês, sendo a 5º maior empresa da *internet* a nível global. Do Japão, temos a Rakuten (2017), que ocupa a 769ª posição, fundada em 1997, e dedica-se a diversos tipos de serviços na *internet*.

Embora estas ainda continuem a liderar o mercado de serviços *online* nada garante que irão continuar a ser os líderes da inovação, que os tem sustentado.

Vejamos o caso dos ambientes bastantes diferentes como os compostos por empresas tradicionais ligadas a matérias-primas. Curiosamente entre as analisadas pertencem todas aos metais ou à mineração. E os outros materiais? Não sobra uma única. Inclusivamente no petróleo e no gás que em 2006 faziam parte da lista 46 empresas entre as 500 maiores reduzindo-se para 39 em 2017. Entre as 500 empresas com maior valor de mercado (no setor dos Materiais) existiam 28 em 2010 e subitamente desceram para somente 9 em 2017, o que representa uma redução muito substancial, em mais de um terço. O que aconteceu? A percentagem de empresas líder com o ADN, ligado aos materiais está a perder a importância relativa? Porquê?

As resistentes são:

BHP Bilitone (2017) empresa australiana de mineração, na 75ª posição, fundada em 1885; A Rio Tinto (Rio Tinto, 2017) sediada no Reino Unido, uma empresa de mineração e metais que ocupa o lugar 124º; A Glencore International (2017), uma empresa de mineração suíça que ocupa a 169ª posição tendo sido fundada em 1974; Na 183ª posição temos a China Shenhua Energy (2017), empresa de metais e mineração, fundada em 2004; Seguida em 229º lugar vem a Vale (Vale, 2017), empresa brasileira de ferro & aço, fundada em 1942; Depois em 265º lugar

vem a empresa de ferro e aço, Citic Pacific (2017) de Hong Kong, fundada em 1987; Na 431^a posição temos a Coal India (2017), de carvão, fundada em 1973. Em 484^a posição vem a Arcelor Mittal (2017), Luxemburgo, de ferro e aço, fundada em 2006; e finalmente em 492^o lugar, a Norilsk Nickel (2017), uma empresa russa de mineração e metais, fundada em 1993.

A inovação é dinâmica podendo reorientar-se em direções substancialmente diferentes. O panorama é complexo: carros autónomos e elétricos? Drones, realidade virtual ou aumentada? Ou a impressão 3D⁵²? A próxima onda de inovações pode tomar uma direção substancialmente diferente do que nos temos familiarizado.

Outras empresas há, que embora enraizadas numa base que assenta na componente digital (intangíveis), baseiam fundamentalmente os seus modelos de negócio em produtos físicos como a Uber ou a Airbnb, entre outras. Embora os seus genes advenham do mundo digital constituíram os seus modelos de negócio sobre a propriedade física alheia evitando avultados investimentos e responsabilidades. Ao invés, a Tesla (Tesla, 2017), uma empresa com origem em Palo Alto na Califórnia, investiu massivamente em unidades produtivas proporcionando-lhe a 203^o posição em 2017, entre as empresas com maior valor de mercado a nível global. Além das unidades de produção automóvel estão a crescer em novos setores como o aeroespacial com a aposta no foguetão Heavy. A Space X, que à semelhança da Tesla é controlada por Elon Musk, é responsável igualmente pelas operações de abastecimento da Estação Espacial Internacional (EEI) e que, em breve, vai também ter a seu cargo o transporte de astronautas e cientistas americanos para a EEI. O Heavy tem 27 motores Merlin 1D (três vezes os nove que compões cada Falcon 9) os quais desenvolvem um impulso de 22.519 kN à superfície da Terra, sensivelmente o mesmo que é fornecido por dezoito Boeing 747, com quatro reactores cada. Os testes já tiveram início com o intuito de nos levar a Marte, tendo o futuro como horizonte (Lavrador, 2018a).

A Apple recorde, na 1^a posição, já se baseia sobre esse modelo de negócio há longos anos (Apple, 2017) e embora assente sobre uma componente digital conjugou-a com uma componente física através de dispositivos como os *iPads*, *iPhones*, entre outros.

Bershidsky (2017) na Bloomberg View levanta a seguinte questão, será a BMW a próxima Nokia? Numa clara alusão entre a BMW *versus* Tesla comparativamente ao verificado anteriormente entre a Nokia e os primeiros anos quando surgiu o *iPhone* através da Apple?

Novos fatores como as diversas restrições e os mais rigorosos regulamentos ambientais, como o Euro 6, um novo padrão ambiental que reduziu as emissões de NOx (após escândalo da Volkswagen) por um fator de 6X em comparação ao verificado no ano 2000. A esse facto não é alheio o prognóstico do fim dos motores de combustão. Na Alemanha os reguladores estabeleceram a meta até ao ano 2030, tendo inúmeras cidades a nível mundial antecipado essas mudanças para o ano de 2025 e outras para 2020.

⁵² Impressão a 3 (três) dimensões, isto é, algo que tenha largura, altura e profundidade (ou comprimento).

Comparação descabida? No ano transato, a BMW, comercializou 14 531 veículos elétricos, mesmo com a oferta de 2 000 euros pela troca dos antigos modelos de combustão pelos novos movidos a eletricidade, tendo a Tesla no mesmo período vendido 47 000 unidades. É curioso verificar que esta comparação converge no sentido da produção de veículos automóveis em ambientes ciber físicos e divergindo nas suas origens. A BMW advém de um contexto físico (materiais) que compunham as suas inovações ao invés da Tesla que transita de um ambiente digital.

Será o último suspiro da BMW? Bem, da BMW talvez não (BMW Group, 2017a), porque é uma empresa muito ágil e que tem demonstrado uma grande capacidade de adaptação. Fundada em 1916 ocupa atualmente a 165^a posição (BMW Group, 2017b) entre as empresas com maior valor de mercado. Segundo Harald Krueger presidente-executivo da BMW, precavendo-se, preparou as suas linhas de montagem de modo a serem mais versáteis e híbridas, no intuito de possibilitar inclusivamente uma produção simultânea entre os veículos tradicionais e os elétricos face à evolução das solicitações do próprio mercado.

Mas... e as outras marcas clássicas? Bem... Um estudo publicado em 2017 (Sedgwick, 2017) antecipa o desaparecimento de 70 das 100 maiores empresas da indústria automóvel até ao ano de 2030.

Não é o caso da Tesla (2017), fundada em 2003, que demonstrou não existir nenhuma razão plausível para que uma empresa conotada como “tecnológica” não possa produzir automóveis. Inclusivamente migrar para outras áreas como as energias renováveis através da produção de telhas que geram energia solar, tendo como objetivo que esta nova unidade fabril permita alcançar cerca de 2 gigawatts (GW)/ano (Randall, 2017). Esta inovadora empresa de Silicon Valley é constituída por um exército de programadores para solucionar problemas desde os *touchscreen* até ao *software* para carros autónomos. Segundo estimativas do Boston Consulting Group (citadas por Gapper (2015) em “*Software is steering the car industry*” in Financial Time, 2015), apontam para que os custos dos componentes eletrónicos de um veículo automóvel (segmento médio/alto - *Premium*) aumentou dos 20% registados no ano de 2004, para cerca de 40% em 2015, além da incorporação de 100 microprocessadores e 100 metros de códigos de *software*. A eletrónica e a automação transformam-se em componentes fundamentais na linha de montagem de produtos que se podem complementar em serviços. Estes fatores potenciam a sua interação e a troca de dados através de dispositivos, com o fabricante, com o meio envolvente ou inclusivamente para a condução autónoma (sem condutor).

Neste clima versátil e interativo, o valor reside com maior incidência na interoperabilidade entre os produtos e os serviços, o material e o digital. Estes novos modelos de negócio tornam-se cruciais e fundamentais para alcançar novos índices de produtividade e competitividade das organizações e dos países. Estas interações resultam de um processo evolutivo determinado em grande medida por interlocutores (empresas, organizações, entidades...), que tem no seu ADN uma tendência para colmatar e responder com inovações às diversas solicitações dos utilizadores.

4.9.1. Inovações físicas/digitais

No contexto das TIC, embora tenham o ADN em comum, as inovações podem ser divididas entre as inovações mais conotadas com o material e o digital (intangível). As primeiras são caracterizadas por produtos físicos, classificadas por *Hardware* & Equipamentos, que vimos o número de empresas diminuir na análise entre as 500 maiores, de 18 no ano de 2010 para 16 em 2017. Em segundo lugar, temos as inovações que surgem das tecnologias TIC mas no contexto ciber físico de equipamentos com *Software* & Serviços, que por sua vez, assistiram a um aumento extraordinário, passando das 14 empresas para as 24 no mesmo período. Podendo juntar um terceiro tipo de inovações que surgem de produtos tradicionais físicos que transitam no entanto para ambientes ciber físicos mas sem o ADN de base que constitui as TIC.

No primeiro caso, embora as inovações tenham o ADN centrado numa componente tecnológica, são entretanto conotadas por inovações físicas. Temos como exemplo algumas das mais conhecidas como:

A Intel Corporation (2017) na posição 40^a, fundada em 1968, assim como a IBM (2017), na 43^a posição, fundada em 1991 e para manter o ritmo da Lei de Moore (...) disputam o mercado dos transístores mais pequenos e velozes com 10 e 7 nanómetros (nm) respetivamente, utilizando novos processos de produção, estando previsto o lançamento para o mercado ainda para o ano de 2017 (Computerworld, 2015).

A Nvidia (2017) ocupa o 160º lugar, fundada em 1993. Fabricante de processadores gráficos e *software* multimédia utilizados pela Apple, Tesla..., e diversas marcas de dispositivos móveis, aumentou as suas vendas em cerca de 38% no ano de 2016.

A Hewlett Packard Enterprise HP (Hewlett Packard Enterprise HP, 2017). na 388^a posição, iniciou a sua atividade como produtor de computadores pessoais e impressoras. Oferece atualmente servidores para armazenamento de informação, serviços empresariais (consultoria), *software* entre outros produtos e serviços.

O caso da Siemens (Siemens, 2017a), fundada por Werner von Siemens e Johann Georg Halske em 1847 e sediada em Munique, na Alemanha. Inicialmente produzia equipamentos de telecomunicações (telégrafos), diversificando posteriormente ao longo dos anos para outros tipos de produtos e serviços. Atualmente ocupa a 64^a posição entre as empresas com maior valor de mercado a nível global. Esta posição resulta de um conglomerado de empresas diversificadas que produz componentes para veículos automóveis, comboios, para o setor da saúde, turbinas eólicas, entre outros (Siemens, 2017b),

Tendo no entanto sido catapultada para esta nova dimensão comum e bem-sucedida economicamente, através da aplicação do mundo virtual com todas as suas vantagens em termos de diagnóstico, simulação e otimização em diversas áreas. O segmento *Digital Factory* (Siemens, 2017c), por exemplo oferece um *portfólio* diversificado de serviços de *hardware*, *software* e tecnologias integradas de forma a apoiar empresas em todo o mundo. Tendo como objetivo aumentar a flexibilidade e a eficiência dos seus processos de produção e reduzir simultaneamente o tempo de comercialização dos seus produtos. Na vertente das energias

renováveis onde produz e instala turbinas eólicas para aplicações terrestres e em *offshore*, assim como soluções de *software* e serviços para transmissão e distribuição de energia, bem como o desenvolvimento de infraestruturas de redes inteligentes. O segmento *Building Technologies* fornece tecnologias e serviços de automação para edifícios e infraestruturas (Siemens, 2017d). O segmento de Mobilidade abrange áreas de negócios para transporte de passageiros, sistemas de automação ferroviária, sistemas de eletrificação ferroviária, tecnologia de tráfego rodoviário e soluções de tecnologia da informação (Siemens, 2017e).

No segundo caso temos inovações que surgem inicialmente do ADN das TIC mas no contexto evolutivo Ciber Físico de equipamentos e produtos com *Software* & Serviços digitais integrados.

Neste caso temos diversas empresas que englobam este ambiente que têm proporcionado diversas inovações como é o caso da Tesla, já anteriormente referida, onde se verifica uma mutação de habilidades na junção do mundo digital ao mundo físico.

Inclusivamente de inovações que resultam de parcerias como preconizada pela Phoenix Arizona e pela Cincinnati Incorporated (Cincinnati, 2017), no intuito de desenvolver um veículo elétrico concebido por camadas. Designado por *Strati* (AE News, 2004) num processo de produção aditiva, sob o lema de que um dia, num futuro não muito distante, será possível entrar num concessionário de automóveis, escolher um determinado *design*, incluindo o número de lugares e ter um carro 3D impresso até ao final do dia (consultar capítulo 5, seção 5.7, *Novos modelos de negócio*, pág.297).

Como é que vai reagir o setor automóvel a estes novos desafios? A empresa chinesa Alibaba, (concorrente da gigantesca Amazon no comércio mundial *online*) propôs ao público, em janeiro de 2018, a identificação de um veículo por foto para posterior marcação de um *test-drive*, através da aplicação Taobao. Já é possível fazer a deslocação na data acordada à Tmall Vending Machine, posteriormente instalar-se a bordo e usufruir do modelo dos seus sonhos durante três dias. Findo esse período, pode devolvê-lo ou avançar para a compra. Quase tão simples como comprar uma garrafa de água. Só o tempo poderá dizer se esta ideia “tem pernas para andar” (Lavrador, 2018b).

Por sua vez, na componente dos serviços temos inovações vocacionadas como intermediários digitais através de aplicativos móveis. Como exemplo, temos a anteriormente citada Uber (2009) na subcontratação de transportes com motorista.

No aluguer de espaços para turismo temos a Airbnb (2017).

Por sua vez, a TaskRabbit (2008) inicialmente uma inovação social de ajuda a trabalhos ou atividades sendo posteriormente (2014) remodelada e vocacionada para o segmento de trabalhos temporários.

Na comercialização temos a Alibaba (2017), fundada em 1999, assim como a Amazon fundada em 1994, que ocupam a 140^a e a 4^a posição respetivamente entre as mais cotadas a nível global na área dos serviços de venda de produtos físicos e digitais. Funcionando

fundamentalmente num contexto comercial digital ou digital (*e-commerce*). Assim como a eBay (2017), que ocupa a 306ª posição, criada em 1995. Estas inovações resultam essencialmente do contexto exclusivamente digital em que desenvolvem a sua atividade comercial diferindo essencialmente quanto a sua origem geográfica sendo a primeira originária da China e a segunda dos EUA.

Temos também as “mais tradicionais”, compostas por inovações de grande impacto social e económico, proporcionadas por exemplo pela Microsoft Incorporated que ocupa a já referida 3ª posição entre as empresas de maior valor de mercado. Foi fundada por William Henry Gates, mais conhecido por Bill Gates, (um dos homens mais ricos do mundo) e Paul Allen. Esta empresa dedica-se ao desenvolvimento e comercialização de *software* e serviços de *hardware*. Embora tenha produzido consolas e servidores é frequentemente conotada por inovações digitais tendo atingido o seu maior estrelato através do conhecido sistema Windows lançado em 1982.

Assim como um conjunto diversificado de inovações propostas pela Adobe Systems, Inc. (2017) que ocupa a 141ª posição a nível mundial. Fundada em 1982 oferece produtos e soluções de *marketing* e media digital. Tais como conjuntos de programas de tratamento de fotografias, o Photoshop, o Adobe Illustrator, o Adobe Premiere, o Adobe Acrobat além de serviços de impressão de ponta, aplicativos *web*, entre outros.

São diversas as demonstrações deste novo contexto de configurar modelos de negócio perante o desafio de conectar o mundo físico ao digital mas de difícil quantificação, eventualmente por serem na sua grande maioria constituídas por pequenas e médias empresas.

O terceiro caso é ocupado por Inovações de índole mais tradicional mas que transitam para ambientes ciber físicos, sem possuírem no entanto o ADN original das TIC.

Este ambiente transita para produtos mais tradicionais onde se verifica uma mutação para ambientes digitais e até “inteligentes” como o caso das meias Blacksocks, em 2009 (Black Socks, 2017) que consistia inicialmente num serviço de assinatura de meias inteligentes e vendas *online*. Tendo posteriormente ampliado a sua variedade de inovações adaptadas a roupa interior e a *t-shirts*, contando atualmente com cerca de 60 mil clientes.

Ou o Pharma Blister (2017), uma inovação inteligente da área da saúde que além de impedir as dosagens erradas, disponibiliza um aviso sobre a próxima medicação a tomar. Este tipo de inovações que são distribuídas por diversos intervenientes, face às solicitações crescentes causadas por uma população cada vez mais envelhecida a necessitar de cuidados acrescidos.

A Tetra Pak uma empresa fundada em 1951 é uma marca conhecida de embalagens de produtos alimentares (Tetra Pak, 2017). Apresenta uma inovação designada por embalagem inteligente no intuito de melhorar a segurança alimentar que altera a cor em função das perdas de características do alimento.

Estas últimas encontram-se entre milhares de outras inovações que surgem constantemente no mercado face a um aumento na diversificação das necessidades do mesmo.

Inclusivamente em grandes empresas já anteriormente mencionadas como a Mercedes, a BMW (...), assim como diversas outras de veículos motorizados que estão a sofrer profundas reestruturações face aos novos desafios. Estes acontecimentos não se verificam exclusivamente nos transportes mas inclusivamente no vestuário e produtos têxteis tais como em equipamentos desportivos.

É o caso da Adidas, um tradicional fabricante de produtos e equipamentos desportivos, fundado em 1949, por Adolf Dassler (já mencionado *seção 4.5.3. Produtos e serviços personalizados em ambientes inteligentes*, pág. 241). Esta empresa não se enquadra no estereótipo das conotadas TIC. Eleva no entanto esta nova realidade ciber física, através de diversas iniciativas de produção sob o desígnio de “Criar o Novo”. É o caso da *Speedfactory* (Adidas Group, 2016) um novo conceito de produção rápida para produtos personalizada, perto do cliente, através de Sistemas Ciber Físicos de Produção (CPPS). Uma nova fábrica que vai reinventar a produção está a ganhar forma. Munida de robôs e processos de produção aditiva que não é novidade na Alemanha, que soube manter a sua base produtiva inovadora. O que é realmente único nesta fábrica é que não está a produzir veículos automóveis, aviões ou equipamentos eletrónicos, mas ténis e outros artigos desportivos. Segundo Kasper Rorsted CEO da empresa (Adidas Group, 2017a) a marca é o que conecta a empresa ao consumidor “... *nós nos aproximamos deles mais do que nunca*” e os resultados de 2016 assim como perspetivas positivas para 2017, assim o comprovam. Ultrapassando inclusivamente as expectativas iniciais, surgindo neste ano na 284ª posição (Adidas Group, 2017b) entre as empresas de maior valor a nível global. Para tal desenvolveram um plano que se baseia em 3 escolhas estratégicas; a rapidez em satisfazer as necessidades dos clientes; locais estratégicos de produção (como grandes centros populacionais) e a abertura da empresa e integração dos atletas, consumidores e parceiros neste novo contexto. Uma das principais vantagens da *Speedfactory* é encurtar o tempo no fornecimento dos produtos para menos de uma semana, ou possivelmente para o próprio dia, desde que o *design* esteja definido. O processo de *design* é progressivamente adaptado ao contexto digital permitindo inclusivamente através da simulação testar e ajustar o desempenho dos produtos aos requisitos pretendidos.

Tudo misturado e para baralhar ainda mais, um aumento da complexidade demonstrada por movimentações inesperadas mas com o objetivo, de sobreviver, de se desenvolver, de se adaptar, ou através de mutações... tal como acontece no mundo biológico.

Os diversos cenários possíveis resultam em complexas inovações híbridas diversas vezes resultantes de uniões ou parcerias como as preconizadas por diversas empresas. É o caso da Google (Alphabet) e da Walmart unindo esforços com o objetivo de serem bem-sucedidas, disputando o futuro mercado de vendas *online* com as rivais Microsoft e Amazon (Pham, 2017).

Confuso? A partir de setembro de 2017, a Walmart (2017) uma empresa constituída por diversos estabelecimentos comerciais de venda direta ao público formou parceria com o gigante da eletrónica, a Alphabet. Disponibilizou aos seus clientes um serviço inovador de comércio eletrónico através de assistentes pessoais virtuais que permitem realizar compras à distância, através da voz.

Por sua vez a Microsoft estabelece uma parceria com a Amazon (Esteves, 2017) para desenvolvimento de serviços digitais compostos por vários assistentes pessoais virtuais, cada um com competências específicas e com acesso a um diversificado conjunto de dados através de tecnologias subjacentes à IA - Inteligência Artificial. Crescem os desafios e as incertezas, certo é que o valor de mercado destas quatro empresas compostas pela Amazon (4º lugar entre as empresas com maior valor no mercado a nível global), com valor de mercado equivalente a 427 000 milhões e a Microsoft (3º lugar) com 507 500 milhões, concorrem com, a Alphabet (2º lugar) com 579 500 milhões e a Walmart (22º) com 221 100 milhões. Perfazendo um total de 1 735 mil milhões US\$ podendo ser equiparada quantitativamente ao PIB ou a riqueza gerada durante um ano por uma economia como a do Brasil ou a de Itália (World Bank, 2018; Forbes, 2018).

Como foi referido anteriormente, é difícil quantificar o impacto que as inovações têm num contexto global sobretudo pelo polvilhar de inúmeras pequenas e médias empresas que incorporam estas novas tendências. Reforçadas pelas inúmeras invenções que se perfilam aguardando oportunidades técnicas/sociais/económicas para se transformarem e atingirem o estatuto de inovações, quiçá algumas com potencialidades para modificar e moldar o próprio futuro.

É o caso do ainda protótipo “*Smart*”, um veículo elétrico sem volante nem pedais e preparado para a condução autónoma. Este projeto designado “*EQ fortwo*” (Daimler, 2017a) proposto pelo grupo Daimler (117º) (Daimler, 2017b), uma empresa fundada em 1886 que incorpora a conhecida Mercedes-Benz. Concebido para ter uma utilização em regime de partilha (*car-sharing*) em ambientes inteligentes. Proporcionando os melhores trajetos em tempo real assim como demonstrando uma integração com o meio envolvente, incluindo o encontro inadvertidos com peões e ciclistas.

Este fenómeno não se restringe à mobilidade incluindo drones. Na saúde por exemplo, são milhares os casos semelhantes que se perfilam aguardando uma oportunidade não advindo somente de empresas mas também de universidades, institutos e de diversas organizações a nível global. É o caso de um estudo desenvolvido pelo AHC - Austin Health and Clinical (2017) um parceiro da Universidade de Melbourne que alerta os profissionais da área para o potencial de novas tecnologias como a impressão 3D. Estes novos métodos de produção segundo diversos autores tem as características para transformar a medicina quer em modelos específicos para o paciente, prótese sob medida, medicamentos e inclusivamente tecido humano. Segundo Coles-Black *et al.* (2017), fundamentada em cinco áreas principais: na biotecnologia, baseada em estruturas de tecido humano que podem desempenhar as funções básicas de um órgão, substituindo a necessidade de transplante. Em segundo lugar nos medicamentos para idosos ou doentes crónicos que necessitem de um grande número de comprimidos em vez de um pré-definido, constituído à medida e dosagem do paciente numa clara abordagem personalizada. Assim como para ensaios destinados à cirurgia através da simulação do real e inclusivamente cópias reais dos órgãos dos pacientes e aspetos funcionais específicos, relacionados com a programação de cirurgias. Outro aspeto prende-se com a impressão de próteses personalizadas

e adaptadas às necessidades dos pacientes. A quinta área foca a dispersão na produção, geograficamente evitando armazéns repletos de medicamentos pré-embalados, próteses..., substituídos por arquivos digitais de projetos que podem ser impressos (3D), no momento e com as especificidades pretendidas, revelando uma perspetiva desmaterializante. Segundo os autores estamos a transitar para um mundo onde o que se pode imaginar, é possível imprimir, então o que necessitamos de facto é o de reforçar o que pode ser imaginado.

É o caso de inúmeros especialistas desde médicos, cientistas, neurocirurgiões, que por exemplo para transplantes de órgãos, desenvolvem células em laboratório como em Harvard Medical School e na Universidade Wake Forest (2006). Os avanços têm sido muitos variados e difíceis de quantificar. No Instituto Mc Gowan de Medicina Regenerativa de Pittsburgh (McGowan Institute for Regenerative Medicine, 2017) um dos principais centros de investigação do mundo em órgãos artificiais, trabalha-se afincadamente no intuito de desenvolver corações e fígados bio artificiais. A uma escala das inovações em formato de nanotecnologias, temos uma empresa designada por Nano Dimension (2017) que através de uma parceria com a Accellta de tecnologias a nível celular (Accelta, 2017; Nano dimension Ltd., 2016), desenvolvem uma técnica avançada que resulta da possibilidade de imprimir células humanas abreviando o processo para alguns segundos, o que anteriormente outros métodos poderiam levar horas ou mesmo dias a realizar. Algo bastante mais distante é o trabalho desenvolvido pela Techshot (2017) uma empresa que colabora com a NASA (National Aeronautics and Space Administration) no aperfeiçoamento de impressão de órgãos para transplante no espaço até ao ano de 2024 (Dormehl, 2016; Nasa News, 2017), onde o fator gravidade influencia possivelmente as programadas viagens a Marte. Os desenvolvimentos têm sido extraordinários nesta área no entanto, esbarram por diversas vezes em normas, regulamentos e em autorizações como é o caso do bem-sucedido pâncreas artificial que carece de autorização pela Food and Drug Administration (FDA, 2017) aguardando ainda um sinal positivo para 2018.

Este caminho tem sido percorrido por todas as áreas de uma forma transversal catapultando as inovações para outros patamares passando rapidamente de dispensáveis a indispensáveis.

Nos últimos cinco anos assistiu-se ao aparecimento de novos conceitos como a Indústria 4.0 em contexto ciber físico. Esta perspetiva realça a importância da indústria interrompendo este crescente ambiente constituído predominantemente por inovações digitais. Integrar estas duas realidades fomenta o aparecimento de inovações híbridas entre estes dois contextos criando novos valores. Estaremos perante um novo ambiente “inteligente” impulsionado pela junção de inovações físicas e digitais tendencialmente globalizadas e interligadas?

No entanto a repercussão de tais intentos depende em larga medida de um ambiente empresarial inovador que promova essa complementaridade.

As convulsões resultantes de uma mudança de inovações são sempre dinâmicas, é por isso que o futuro será sempre tão emocionante quanto o passado.

Será que agora já se pode perguntar: “ O que é que as empresas do sector digital ainda não entenderam?”

Nota conclusiva

A componente intangível nas inovações decomposta quer sob o espectro de Investigação e Desenvolvimento (I&D), da tecnologia, do *design*, das *patentes* ou do *marketing*, têm contribuído decisivamente para o crescimento da cadeia de valor como um todo. Neste clima versátil e interativo, o valor reside com maior incidência na interoperabilidade entre os produtos e os serviços, o material e o digital. Repercute-se decisivamente sobre as inovações bem-sucedidas que prosperam, assim como das empresas e organizações que as detenham, as mesmas consideradas como inovações. Supostamente, as inovações beneficiam com a junção dos ambientes ciber físicos proporcionando melhores condições para se adaptarem, para se multiplicarem e difundirem transversalmente por toda a sociedade, inclusivamente pelos diversos setores de atividade mais tradicionais e esta delimitação setorial não constitui uma barreira à progressão deste novo contexto.

Sensivelmente no virar do novo milénio as TIC impulsionaram o fluxo de comunicações num formato digital com base em novas tecnologias superando as analógicas. Este crescimento não é imune a uma célere taxa de adoção à infraestrutura digital, cinco vezes mais rápida do que o verificado pela eletricidade e pela telefonia (Cisco, 2017a). A tecnologia sem cabos permite a países em desenvolvimento e aos BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), os quais não dispõem ainda de infraestruturas de telecomunicações com fio de cobre concluídas, transferir-se diretamente para inovações mais recentes sem ter de recorrer ao tradicional fio de cobre.

No ano de 2006, das seis empresas com maior valor de mercado só a Microsoft se intrometia entre os predominantes colossos da banca e do petróleo (The World's Biggest Companies, 2017).

Outro marco assinalável foi atingido no ano de 2008, como ponto de inflexão, quando o número de dispositivos e objetos conectados à *internet* (6 721 mil milhões) superou a população mundial. Assiste-se a uma crescente massificação das inovações digitais (intangíveis) com grande impacto social, todavia segundo diversos economistas, não impulsionaram o crescimento da economia como esperado.

Em 2013, o tráfego registado pelos dispositivos “inteligentes” atingiu os 58% do volume global de informação com 9,4 mil milhões de terabytes (TB) por mês ao invés dos restantes dispositivos convencionais que se limitava aos 6,7 mil milhões de terabytes.

Aparentemente algo está a mudar...

Num mundo em que as empresas de cariz tecnológico já revolucionaram o sector dos media e o das telecomunicações, preparam-se agora para levar o seu ADN para outros domínios. A componente intangível está a aumentar nas inovações. O produto passa a ser visto como um serviço, permitindo estabelecer novas relações, criando inclusivamente uma nova identidade. Os novos ambientes inteligentes proporcionam inovações cada vez mais interativas, complexas e conectadas. Tendencialmente será propício à utilização mais intensiva de *interfaces*, viabilizadas pelas novas tecnologias aplicadas a um mundo incorpóreo, imaterial, intangível.

O que sobrevive do velho conceito sobre os sectores de atividade industrial? O que é que as empresas do sector digital ainda não perceberam?

Capítulo V

Plataforma 4.0

Introdução

A primeira Revolução Industrial teve origem no Reino Unido no final do séc. XVIII como resultado de uma mudança profunda de uma economia baseada na agricultura para a introdução dos novos métodos de produção mecanizados, impulsionada a água e pela máquina a vapor. A segunda Revolução registada nos finais do séc. XIX, resultou do advento da produção industrial em série através de linhas de montagem em novas fábricas eletrificadas, introduzindo gradualmente no mercado produtos acessíveis para um consumo de massas.

A terceira Revolução Industrial ocorreu no final dos anos 60 com a inserção de equipamentos eletrónicos e da informática nos processos industriais, abrindo portas a uma nova era de produção otimizada e automatizada. As inovações tecnológicas e o mercado mudaram profundamente a estrutura produtiva mundial, convertendo matérias-primas em peças e componentes, para as linhas de montagem darem forma aos produtos que depois são distribuídos e comercializados globalmente, por um número crescente de economias. As cadeias de valor tendencialmente complexas têm proporcionado uma diversidade de produtos mais acessíveis impulsionando a economia através das novas oportunidades traduzindo-se numa diminuição da pobreza e no bem-estar das populações. No entanto, a competitividade e os custos alteraram profundamente a estrutura produtiva desagregada e dispersa um pouco por todo o planeta numa complexa cadeia de fornecimento.

A crise financeira de 2008 mostrou a debilidade no tecido produtivo expressando repercussões diferenciadas na Indústria mundial segundo as características de cada economia. Aparentemente houve uma diminuição da importância da indústria, transformando a produção no parente pobre na cadeia de valor. Todavia a recuperação da Alemanha, à semelhança do verificado no Japão após 2008 foi mais célere e expressiva supostamente em consequência de uma forte base industrial, alicerçada em inovações tecnológicas de alto valor agregado. Entretanto, surgiram novas empresas predominantemente da área das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), que aparentemente transportam o seu ADN para outras áreas de atividade, inclusivamente para setores de produção mais tradicionais. Este novo contexto é resultante desta junção, uma nova tecnoesfera alicerçada em ambientes *ciber* físicos por muitos denominada como a quarta revolução industrial (Indústria 4.0).

5.1. A indústria na economia

O peso global industrial alterou-se substancialmente nos últimos 50 anos. A esse facto não é exógeno o declínio acentuado na capacidade de impulsionar os setores de produção mais tradicionais. Embora seja um sector fundamental para a sociedade representa atualmente a nível global, cerca de 26% do PIB, a agricultura 3% e os serviços com 71% (World Bank, 2017b). A Indústria não perdeu importância absoluta mas relativa, ou seja ela continuou a aumentar em termos reais mas a diminuir relativamente aos índices de crescimento verificados na economia global.

Observa-se no entanto que a nível mundial se registou uma diminuição do peso da indústria manufatureira (excluindo a energia e a construção), de cerca de 27% registados em 1970, para menos de 15% do PIB em 2015, ou seja cerca de metade. É curioso verificar que inclusivamente no Reino Unido, berço da 1ª Revolução industrial, no ano de 2015 baixou da fasquia dos 10% do PIB.

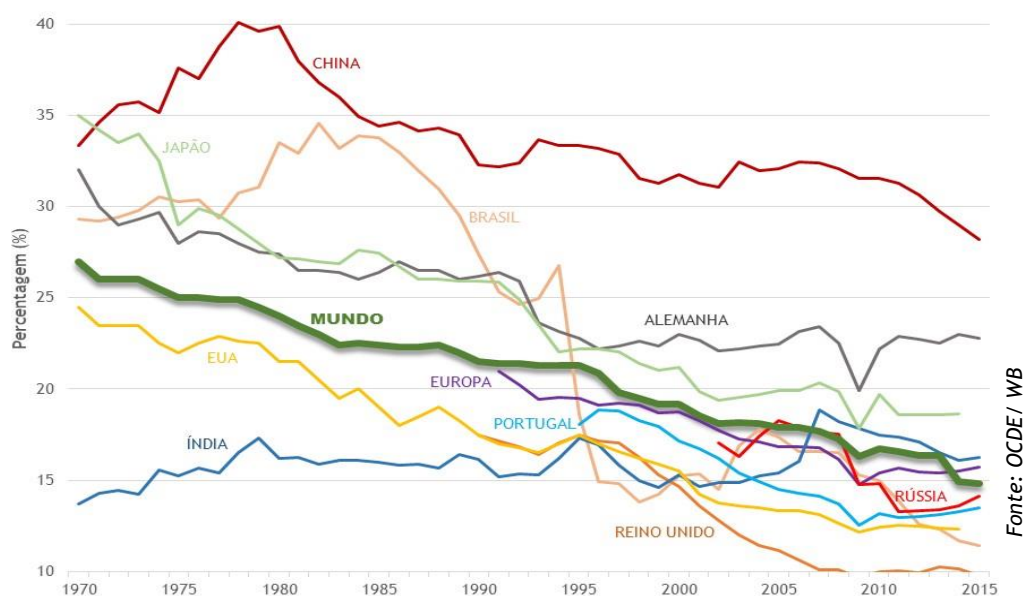


Gráfico 52. Indústria Manufatureira no Produto Interno Bruto (PIB).

No início da década de 90, o valor agregado do mercado mundial industrial era de 3 451 mil milhões de euros. Sendo imputados na sua grande maioria cerca de 60% aos grandes países industrializados da época como os EUA, o Japão, a Alemanha, a França, a Itália e ao Reino Unido. Nesse mesmo período, os países designados por emergentes apenas produziam 21% do valor acrescentado na produção global. É de salientar que não é evidente, pelo menos nas economias analisadas (World Bank, 2017), o impacto económico da deslocalização de empresas produtoras das economias mais desenvolvidas e da sua transferência para economias emergentes como o Brasil, a Rússia, a Índia e a China (BRIC). Será aparentemente causada pela financeirização da economia que criou buracos no ecossistema industrial e respetivas consequências na capacidade de inovação? E não tanto pela deslocalização? Ou o crescimento exponencial das economias verificado nos BRIC, são provenientes de outros setores de atividade, como o financeiro?

Em todo o caso, os indicadores de emprego industrial são perentórios demonstrando uma realidade que aponta para uma transferência de postos de trabalho. Enquanto a China e o Brasil aumentaram em 39% e 23% respetivamente, na Alemanha diminui 8%, na França 20% e no Reino Unido 29% (Minges *et.al*, 2016). Esta evolução na distribuição geográfica das habilidades segundo Roland Berger em “Think Act” (Berger, 2016) deve-se aparentemente a três fatores principais. O primeiro, deriva do incremento nos ganhos de produtividade verificados em determinadas economias. Em segundo lugar, a deslocalização da produção para novos mercados e por último a terceirização de atividades.

1º. O ganho de produtividade evidenciado por algumas economias baseado no alto valor tecnológico agregado como na Alemanha, no Japão e na Áustria..., colide com o fraco desempenho apresentado em economias como a da França ou da Inglaterra, que além de assinalar uma redução do seu peso na economia é simultaneamente acompanhada por um declínio substancial do número de empregos associados.

2º. Relativamente à deslocalização do tecido produtivo na procura de benefícios e de panoramas mais favoráveis, coincide com a ascensão dos países emergentes. No entanto não é de escamotear o incremento registado por exemplo, em mercados inclusivamente europeus encabeçados por países como a Polónia, a Roménia ou a República Checa, assim como de diversas economias de outros continentes. Evidenciando repercussões diferenciadas no ecossistema industrial segundo os graus de desenvolvimento dessas mesmas economias. Entre o ano de 1991 e o de 2011 (20 anos), verifica-se um aumento médio de 179% nas economias dos mercados emergentes enquanto nas dos países ditos industrializados somente 17%. Esta nova realidade proporciona uma visão do novo contexto industrial mundial alicerçado numa crescente predominância dos países com economias ditas emergentes que já representam mais de 40% do valor global de produção.

3º. Outro aspeto reside na terceirização de atividades e na fragmentação sofrida ao longo dos últimos anos na própria estrutura das unidades de produção sob o lema da especialização. Tendo esse facto fomentado que diversas ocupações anteriormente endógenas ao sistema como a limpeza, a segurança, a contabilidade, os transportes, a informatização ou a logística tenham migrado progressivamente para os serviços. Embora alguns autores afirmem que os serviços possam nos próximos anos substituir a produção, o relatório da Roland Berger (2014) e da UE, através do centro estratégico (European Political Strategy Centre) (EPSC, 2005), reforçam a ideia de que isso é improvável, pois os dois setores estão intimamente interligados e são dois lados da mesma moeda. A indústria cria valor nos serviços e vice-versa, inclusivamente no mercado de trabalho onde cerca de 40% do total de empregos do setor industrial europeu estão ligados aos serviços. Reforçada pelo impacto, em média cerca de 25%, que a indústria representa no peso total do setor dos serviços.

A crise financeira de 2008 mostrou a debilidade no tecido produtivo expressando repercussões diferenciadas na Indústria mundial segundo as características de cada economia.

Na Europa (dos dados disponíveis), à semelhança do registado nos EUA evidenciam uma curva generalizada em decréscimo durante o período entre os anos de 1970 a 2008, registando aparentemente uma estabilização do indicador a partir de 2014 em cerca de 15% e 12% respetivamente.

Mas a recuperação da Alemanha, à semelhança do verificado no Japão após 2008 foi mais célere e expressiva supostamente em consequência de uma forte base industrial, alicerçada em inovações tecnológicas de alto valor agregado. Além de disporem de um acesso facilitado a um conjunto rico e diversificado de capacidades complementares no ecossistema industrial. Ao invés, a China, a Índia e o Brasil que acentuaram essa curva de declínio, não recuperaram ainda do impacto sofrido.

Investigadores do MIT - Massachusetts Institute of Technology elaboraram o Projeto PIE (Production in the Innovation Economy), (Locke e Wellhausen, 2013) apontando para o facto de que os Estados Unidos perderam a capacidade de fazer a transição de um novo produto ou inovação de produto para produtos comerciais. Segundo os autores não são só as fábricas físicas que permanecem vazias e desmornadas, *“É que em simultâneo verifica-se o desaparecimento das forças e capacidades críticas que antes serviam para impulsionar o aparecimento de novas empresas”*. Estes pressupostos são responsáveis aparentemente pelo enfraquecimento progressivo da capacidade de iniciar futuras rodadas de inovação.

Para contrariar esta tendência os governos tomaram medidas através de diversos programas estratégicos de inovação e desenvolvimento. Para recuperar o cenário industrial e sustentar uma economia inovadora, segundo Berger (2013) no seu livro *“Making in America: From Innovation to Market”* argumenta que a produção e a indústria é fundamental para acelerar a inovação, o que alimenta o crescimento económico. Sendo o desafio mais urgente para a inovação e produção, a reconstrução das capacidades no ecossistema industrial.

Segundo a Germany Trade & Invest (GTAI), por cada euro gerado pela indústria no PIB, corresponde a mais 1,3 euros noutros setores de atividade. Em paralelo a União Europeia tem como meta aumentar o peso da indústria dos cerca de 15% do Produto Interno Bruto (PIB) para os 20% em 2020. Ou seja, traduzindo-se numa contribuição (direta e ou indireta) de 46% na economia.

Num mundo conectado, fortalecer a proximidade e conexão, das inovações com os utilizadores é fundamental para a indústria. A Chanceler alemã, Ângela Merkel em 2015, no dia da Família nas empresas, ao discursar sobre a Indústria 4.0, utilizou o termo *“Ansiedade digital”* sobre a *Big data*, advertindo que a interseção estabelecida entre os consumidores e o produto/serviço será de onde virá o lucro futuro (Die Bundeskanzlerin, 2015).

Aparentemente, a distinção pronunciada entre a produção (física e digital) e os serviços para a economia é fictícia e a criação de valor na inovação resulta em grande medida da sua intersecção, dando expressão a novos contextos.

5.2. Indústria quatro ponto zero

Após as três primeiras revoluções industriais marcadas pela mecanização, eletrificação e automação, a quarta assenta em ambientes ciber físicos e em sistemas produtivos otimizados.

O termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover baseada num projeto de investigação patrocinado pelo Ministério Federal da Educação e Investigação no ano de 2011. Esta iniciativa foi apresentada ao público por três representantes, Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lucas e Wolfgang Wahlster, respetivamente da área empresarial, da política e da ciência (Kagermann and Lukas, 2011), no intuito de demonstrar como iria ocorrer uma mudança de paradigma na indústria e nos novos modelos de negócio com base em sistemas ciber físicos destacando-se o termo posteriormente dois anos volvidos, após a visita de Merkel à Feira Industrial mais importante do mundo. Embora o termo Indústria 4.0 tenha tido origem na Alemanha onde milhares de artigos já foram publicados, o conceito difundiu-se exponencialmente, ultrapassando as fronteiras com termos relacionados que descrevem este fenómeno ciber físico de integração digital na produção e nos serviços.

“Indústria 4.0” é a designação da iniciativa no fornecimento de soluções avançadas de produção, sendo um dos 10 projetos futuros inseridos na Estratégia de Alta Tecnologia 2020. Com o objetivo de informatizar métodos tradicionais de produção, de desenvolver “fábricas inteligentes”, a digitalização surge como fio condutor de uma linguagem universal que une as unidades de produção, os fornecedores, os parceiros de negócio e os próprios clientes. Posteriormente, foi criada a Plataforma 4.0 envolvendo parcerias público privadas representantes da indústria, da comunidade científica, dos sindicatos, das associações industriais e das instituições governamentais com o intuito de aprofundar e desenvolver aspetos chave no futuro deste novo contexto, num horizonte estratégico de longo prazo até ao ano de 2030. O objetivo desta iniciativa visa proporcionar uma visão geral na aplicação prática de normas e de tecnologias, com o propósito de fomentar o desenvolvimento de atividades de negócio. Assim como pela pretensão de aumentar os níveis de produtividade industrial até 50% e reduzir simultaneamente para metade a quantidade de recursos necessários, segundo a Germany Trade & Invest - GTAI. A customização na produção associada a uma indústria mais ágil, segundo The Boston Consulting Group - BCG (2015), permitirão proporcionar sistemas de produção mais eficientes em cerca de 25%, assim como implementar processos mais rápidos em cerca de 30%.

A Indústria 4.0 descreve uma nova organização nos processos de produção baseados em tecnologia e comunicação autónoma ao longo da cadeia de valor. Um modelo de “fábrica inteligente” torna-se norma, onde máquinas, sistemas e redes com base nas TIC, são capazes de trocar e tomar decisões descentralizadas, baseadas em mecanismos de auto organização e em tempo real, proporcionando uma maior flexibilização e capacidade de adaptação. Esses desenvolvimentos levam a que a diferenciação entre indústria e serviços sejam menos relevantes à medida que as tecnologias e a *internet* ligadas a produtos e serviços industriais se transformam em produtos híbridos que deixam de ser exclusivamente bens ou serviços.

Na verdade, existem outros termos que descrevem esses novos fenómenos da Indústria 4.0, como a "IoT - *Internet das Coisas*" e "*Internet dos Serviços*", sendo considerados elementos integrantes da Indústria 4.0. Dando expressão a SCF - Sistemas Ciber Físicos ou CPS - Cyber-Physical Systems, o conceito foi utilizado pela primeira vez por James Truchard, CEO da National Instruments no ano de 2006 para descrever um *software* baseado na representação virtual de um processo industrial de manufatura. Onde redes inteligentes com sensores e processadores integrados, projetados para detetar e interagir com o mundo físico (incluindo humanos), resultam na junção do contexto virtual e digital com o mundo real.

Esta crescente complexidade num mercado globalizado e interativo leva a que diversos investigadores utilizem o conceito de informação para caracterizar e medir a ordem e a desordem, a complexidade e simplicidade dos sistemas. Neste contexto os CAS - Complex Adaptive Systems, (Instituto Santa Fé nos EUA), procuram identificar e generalizar padrões quantitativos subjacentes partilhados por sistemas num contexto evolutivo (Mitchell, 2009; Gell-Mann, 1994).

Gell-Mann (1994) em Complex Adaptive Systems (CAS) refere a relação estabelecida entre os sistemas digitais e os naturais, incluindo a adaptação de métodos informáticos para simular sistemas complexos baseados no meio envolvente ou na biologia (M-era.Net, 2017) Apesar dos sistemas divergirem nos atributos físicos, no entanto assemelham-se muito na forma como gerem e processam as informações, sendo talvez essa característica comum o melhor ponto de partida para explorar o seu funcionamento. O conceito tem em conta a informatização das indústrias transformadoras em que os objetos físicos são Integrados na rede de informação. Como resultado, os sistemas de produção são como processos de negócio dentro de fábricas e empresas em tempo real, horizontalmente conectadas a redes de valores dispersos fisicamente (localização). Este novo contexto pretende acelerar o processo de transferência de conhecimentos científicos no desenvolvimento de produtos e serviços comercializáveis, tendo segundo diversos investigadores do World Economic Forum (WEF) liderados por Klaus Schwab (Schwab, 2016) as características que indiciam estarmos no limiar da 4ª revolução industrial...

5.2.1. Contexto internacional

A adoção de elementos que caracterizam a Indústria 4.0, já são dados adquiridos e que se verificam entre diversos países, ainda que essencialmente concentrados na Europa, nos EUA e na Ásia. A corrida entre países para a Indústria 4.0 já se iniciou...

Neste contexto a complementaridade entre blocos é fundamental, o estabelecer pontes entre os diversos segmentos e graus de maturação no setor produtivo tornou-se imperativo.

O aparecimento de chavões ligados a atividades externas como o *offshoring* que resulta da corroboração de Indústrias 4.0 para com a Indústria mais tradicional 3.0. Assim como o inverso, *onshoring* que advém da complementaridade das indústrias mais tradicionais com a Indústria 4.0. Estas estruturas são caracterizadas por pequenas redes e fábricas inteligentes, cadeias de logísticas dinâmicas onde a produção customizada em massa e a personalizada permitem remunerações mais elevadas. Por sua vez as empresas industriais 3.0, caracterizam-

se por grandes unidades produtivas, cadeias de distribuição longas e complexas onde a produção em massa assenta em remunerações geralmente mais baixas. Conjugar este intrincado e complexo sistema é um desafio crescente num mundo cada vez mais globalizado.

A UE - União Europeia, pretende atingir o objetivo dos 20% de quota da produção industrial no PIB até ao ano de 2020, um plano ambicioso e uma mensagem clara dos seus intentos. Esta visão de uma nova Europa industrial assenta essencialmente no acolhimento e desenvolvimento desta nova corrente da indústria 4.0 e preferencialmente impulsionada pelos seus membros.

Esta abordagem foi inicialmente muito influenciada pelo governo alemão, no entanto com algumas variáveis e especificidades mais diversificadas, face ao desenvolvimento heterogéneo dos elementos que a compõem. Pretendia-se favorecer a perspetiva unificadora e inclusiva de esforços conjuntos através de um programa designado por “Horizonte 2020” contribuindo assim para o fortalecimento e a formação no espaço europeu de I&D - Investigação e Desenvolvimento e a utilização de novos processos industriais. Neste programa quadro existem alguns projetos, tais como o “M-Era.Net” (M-era.Net, 2017), que consiste numa rede financiada pela UE, cujo objetivo é a coordenação à escala europeia de todas as instituições, programas de investigação e metas a alcançar. Os programas são variados e vão desde as “Fábricas do Futuro” (European Commission, 2017), às plataformas tecnológicas europeias sobre os EPoSS) - Sistemas Inteligentes e Integração ou mais especificamente sobre a indústria manufatureira como o “Manufuture UE12” (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2006; EPoSS, 2017).

Estes programas assentam genericamente em proporcionar uma visão estratégia que não se confina exclusivamente ao contexto da manufatura mas numa abordagem abrangente e transversal do próprio conceito de Indústria 4.0. Proporcionando um conjunto de normas comuns inovadoras em sistemas inteligentes de integração, definindo prioridades no planeamento de projetos conjuntos assim como estratégias futuras a serem exploradas.

Na Alemanha, este contexto da Indústria 4.0 insere-se numa iniciativa do governo no ano de 2006 designada por “Estratégia de Alta Tecnologia” (publicada por BMBF (ManuFuture - Eu, 2017; Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2006; Ibidem, 2007), englobando de uma forma transversal todos os seus ministérios. Esta ação depende de um crescimento baseado numa estratégia de investimentos na educação, na investigação e na inovação. Desde o ano de 2006, que a despesa nestes domínios aumentou de 8,5% do PIB para 9,3% em 2009, através de um pacote de investimentos na ordem dos 12 mil milhões de euros. Esta estratégia organizacional foi aperfeiçoada em 2010 sob os pressupostos, que visavam o desenvolvimento de tecnologias chave para alavancar e implementar os resultados da investigação em produtos, em processos e em serviços. Assim como novas condições de financiamento reduzindo simultaneamente a burocracia e a implementação da inovação através de parcerias público privadas para intervir em cinco áreas que vão desde o clima, energia, à mobilidade.

Em 2012, o governo alemão através do BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) sob pretexto de acelerar o crescimento económico, publicou um relatório dos projetos futuros com o objetivo de ser líder mundial de inovação. Esta iniciativa segundo diversos responsáveis veio melhorar substancialmente a sua posição concorrencial numa escala comparativa a nível global.

Posteriormente, foi formado em 2013 um grupo de trabalho constituído por mais de 150 representantes da indústria, da comunidade científica, dos sindicatos, das associações industriais e das instituições governamentais. Subdividido em cinco subgrupos interdisciplinares e intersectoriais no intuito de explorarem as oportunidades e os desafios para os produtos/serviços inteligentes.

No ano de 2016, as áreas estratégicas foram redefinidas como um processo vivo e orgânico de aprendizagem que é constantemente adaptada aos novos desafios. Passando por uma reformulação das tarefas prioritárias para o futuro como a economia digital, a sociedade digital e a mobilidade inteligente (...). Impera a aceleração do ritmo das inovações e a procura de melhores ferramentas de interligação através de redes regionais, nacionais e internacionais para promover novas formas de cooperação e *interfaces* para a ciência e para a indústria, entre outras. Esta visão da Indústria 4.0 em ambientes e sistemas ciber físicos de produção e serviços flexíveis e inteligentes descentralizados (M2M), permite que a comunicação atinja a fábrica em toda a sua extensão assim como a incorpora todas as funções da cadeia de valor, como o fornecimento, o armazenamento até ao consumidor final.

Este novo contexto é impulsionado por uma vasta e crescente comunidade que engloba associações industriais como a GEA - German Engineering Association (VDMA Organisationen, 2017), a associação alemã de ICT - Information and Communication Technology (Bitkom, 2017), ou a German Electrical & Electronic Industry (Zvei, 2017), constituídas por grandes empresas e organizações de Investigação e Desenvolvimento (I&D).

A contribuição ativa na investigação de diversos centros e organismos como o German Research Center for Artificial Intelligence - DFKI [s.d] formado por diversas empresas na área das tecnologias de informação é atualmente o principal polo do país no desenvolvimento de *software*. Constituído por diversas unidades de investigação onde se destaca a “Embedded Intelligence” dirigida pelo Professor Paul Lukowicz na Universidade Técnica de Kaiserslautern alicerçada em três áreas distintas. A “General Pervasive Computing” ou computação ubíqua, termo utilizado para caracterizar a onnipresença dos recursos digitais no quotidiano das pessoas (na Computação Pervasiva o foco está na consciência do contexto e das suas aplicações). A “Collaborative Cyber Physical Systems (CCPS)”, sistema que resulta da interação e colaboração entre o contexto físico e o virtual e a “Socially Interactive Computing (SIC)”, que resulta da interceção do comportamento social em ambientes digitais de forma interativa.

O centro de Investigação e Desenvolvimento em Inteligência Artificial (DFKI) na perspetiva de desenvolver novas formas de interação para o projeto “Sociedade Inteligente” (*Smart Society*), conta com a colaboração do laboratório LTB (Language Technology Lab) que se subdivide em dois grupos: O primeiro designado por “*Text Analytics*”, sediado em Berlim e

chefiado pelo Prof. Dr. Hans Uszkoreit e o “Technologies Group Multilingual” em Saarbrücken, dirigido pelo Prof. Dr. Josef Van Genabith. Tendo como finalidade facilitar a utilização das línguas por máquinas e no processamento de texto, reconhecimento de voz, na compreensão aprofundada da linguagem e do pensamento humano face às novas necessidades dos utilizadores e exigências do mercado. Em suma, onde as principais áreas de investigação se situam no aprofundamento dos contextos como o “*Text Analytics*” para a *Big Data*, “*Machine Translation*” e Interação Humano-Robô. As três áreas de trabalho desenvolvem um conjunto de métodos no intuito de fomentar uma simbiose a nível semântico e interfaces entre os seres humanos e as máquinas, ou seja na interoperabilidade - baseado no reconhecimento de que ambos concebem e estruturam os seus dados de acordo com a semântica contextual implícita ou explícita.

Outro dos pilares nesta estratégia é Agência de Desenvolvimento Económico da República Federal da Alemanha (GTAI - Germany Trade & Invest). Tendo como principal objetivo a promoção do país como um centro de negócio e tecnologia assim como apoiar empresas na implementação do conceito de “fábrica inteligente” que assenta na fusão dos sistemas ciber físicos.

Em 2011, na Áustria, uma iniciativa da Agência de Promoção e Tecnologia e do Ministério Federal dos Transportes (BMVIT - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), implementaram uma estratégia designada “*Smart Manufacturing*”. Baseada em projetos inovadores inclusivamente além-fronteiras com o objetivo de aumentar o desempenho na inovação, na produção e nos produtos. Fortalecer a cooperação e redes europeias e internacionais. Tendo como um dos principais aspetos operacionais a redução de custos de produção através de melhores mecanismos de automação assim como a flexibilização, a modularização e novos materiais. A iniciativa conta com a colaboração de Universidade de Viena (Aigner, 2013), assim como empresas industriais formando uma rede interdisciplinar de Investigação e Desenvolvimento (I&D), para cooperação no campo dos ambientes ciber físicos e respetivas aplicações em tecnologia de produção industrial. No contexto do programa de investigação “Inovação Áustria 2020”, face às especificidades próprias serve de complemento ao Europeu “Horizon 2020” (Forschung wirkt, 2014; BMVIT, 2017).

No Reino Unido, temos a High Value Manufacturing Catapult (HVMC), que consiste numa rede de centros de tecnologia para acelerar o processo de inovação através de produtos e serviços comercializáveis em áreas onde o país evidencia pontos fortes e onde o potencial de crescimento no mercado seja significativo. Atualmente existem onze “*Catapults*”, que vão desde a medicina à energia com o intuito de fortalecer a relação e a aproximação entre os negócios inovadores e a investigação.

O Japão por sua vez que tem uma economia muito dependente de um setor industrial tecnologicamente evoluído à semelhança do verificado na Alemanha após um artigo no jornal de negócios Nikkei sob o título “A quarta revolução industrial na Alemanha” publicado em 2014 (Japan Markt, 2014). Desde aí, tem proporcionado um olhar muito atento sobre estas iniciativas

e tem absorvido muito dos ensinamentos e de propostas implementadas. Embora evidencie algumas dificuldades na interação e partilha industrial, devido à cultura reinante dentro das empresas tipo "caixa preta" no entanto, é provavelmente um dos países mais desenvolvidos, especialmente na robótica e automação. Esta aposta estratégica do Japão em direção à automação resulta em grande medida como eventual resposta a um rápido envelhecimento da população, a par de uma diminuição da mesma que segundo estimativas apontam para cerca de menos 40 milhões de japoneses até ao ano de 2050.

Em paralelo o conceito de e-Factory 2015 (METI journal, 2015) está a conquistar adeptos com a utilização da *internet* industrial através do controlo de produção e análise de dados tendo por objetivo a otimização da produtividade e do consumo energético. Esta abordagem permite transformar a perspetiva sobre a fábrica que se torna visível e mensurável com o apoio de tecnologias emergentes. Onde, de uma forma gradual, equipamentos, dispositivos, sensores e outras tecnologias de informação e comunicação através da *internet* têm a capacidade de alterar drasticamente a paisagem competitiva da produção (Nirmala, (2016). Futuramente a próxima geração de *e-Factory*, direcionada para toda a cadeia de valor em rede aumentará a eficiência operacional assim como a inovação (Daifuku Annual Report, 2017), numa melhoria constante de sistemas físicos promovendo a colaboração e a implementação de novos modelos de negócio face às necessidades sentidas no mercado.

A China por sua vez é caracterizada por uma economia que investiu muito dos seus recursos na indústria 3.0. Aparentemente o período atual é de reequilíbrio do crescimento da economia de forma mais sustentável. No entanto, diversas incursões no contexto da Indústria 4.0 foram realizadas nos últimos anos, como exemplo talvez o mais sonante resulte da iniciativa do governo chinês na formação da 3D PTIA - Printing Technology Industry Alliance (World 3D, 2015). Assim como a iniciativa de Produção Inteligente (Kennedy, 2015) que pretende através da fusão das tecnologias TIC desenvolver novos modelos de negócio. A ideia central que sustenta este conceito baseia-se na obtenção e monitorização de informações e dados onnipresentes através de sensores permitindo tomadas de decisões otimizadas e inteligentes em tempo real. A produção integrada horizontalmente entre empresas através de redes e verticalmente entre os diversos departamentos que a compõem, permitem um controlo e uma gestão mais eficaz dos produtos em todo o ciclo de vida, desde o *design* do produto, da produção até ao consumidor final. O objetivo é o de desenvolver e acelerar a capacidade de resposta ao mercado inovando na produção inteligente, flexível e eficiente das empresas, centradas para num novo modelo de alta tecnologia (Eloot *et al.*, 2013), por toda a economia. Para tal, o Governo Chinês estabeleceu a estratégia *Made in China 2025* (Yoo, 2015).

Os EUA, embora surjam com programas similares, porém a desindustrialização sofrida nas últimas décadas é também o pronúncio da sua manutenção numa estratégia seguida nos últimos anos, tendo como prioridade promover uma economia de serviços de alta tecnologia.

Contudo, as iniciativas neste contexto são diversificadas podendo destacar a proposta do governo dos EUA sob a designação de Manufacturing Renaissance que assenta em duas

iniciativas principais, a primeira “Advanced Manufacturing Partnership 2.0 (AMP 2.0)” (Mdalfavero, 2016) com o apoio do governo dos EUA, que resulta de uma colaboração entre universidades e empresas. A segunda iniciativa é designada por “Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC, 2017), sendo uma plataforma industrial de cooperação, investigação e desenvolvimento. O objetivo é o de desenvolver normas, plataformas, processos comuns e promover a sua implementação para uma produção inteligente, assim como assegurar e criar postos de trabalho sob o espectro da reindustrialização. Ambas as iniciativas estão a tentar reduzir as barreiras à entrada no mercado para o desenvolvimento de processos e sistemas de produção inteligentes, promover infraestruturas e plataformas de produção compartilhada escaláveis e a permitir que a inovação permaneça globalmente competitiva. Mas também, apoiar os segmentos de negócios que abordam a interoperabilidade, a tecnologia, as infraestruturas e as equipas interdisciplinares de projetos cruzados de várias áreas industriais. Assim como devem de ser asseguradas as acessibilidades, a segurança dos dados e do ciberespaço. Paralelamente outras iniciativas se perfilam com a Industrial Internet Consortium (IIC, 2017) ou a National Network for Manufacturing Innovation (NNMI, 2017) com uma perspetiva futura de produção baseada em ambientes digitais e no *design* inovador. Assim como o aparecimento do Instituto Nacional para a Inovação e para a Produção Aditiva (NAMI) um consórcio de empresas em Youngstown (Ohio), universidades e grupos de desenvolvimento económico e a Rede Nacional de Inovação de Manufatura.

Em 2014, o então Presidente dos EUA, Barack Obama enviou um suplemento ao orçamento para o exercício fiscal de 2015, no intuito de apetrechar financeiramente o projeto “The Networking and Information Technology Research and Development Program” (NITRD, 2015). Este programa consiste na identificação de potenciais oportunidades na coordenação de diversos organismos, constituídos pelo: Cybersecurity and Information Assurance (CSIA) • High Confidence Software and Systems (HCSS) • High End Computing Infrastructure and Applications (HEC I&A) • High End Computing Research and Development (HEC R&D) • Human Computer Interaction and Information Management (HCI&IM) • Large Scale Networking (LSN) • Social, Economic, and Workforce (SEW) • Implications of IT and IT Workforce Development • Software Design and Productivity (SDP), no intuito de aprofundar e desenvolver este novo contexto industrial. Os conceitos subjacentes à indústria também conhecidos por produção inteligente têm por foco o *design* de objetos inteligentes para aumentar a eficiência e a individualização de produtos.

Ainda é muito cedo para se fazer uma análise aprofundada, após a tomada de posse da nova administração Trump. No entanto, as empresas têm desenvolvido diversas iniciativas com diversos organismos públicos incluindo universidades sem necessitar da interferência governamental.

5.2.2. Impacto da Inovação nas economias

A indústria como um ecossistema dificilmente será gerida como um processo centralizado, mas sim descentralizado envolvendo todos os intervenientes. A perspetiva da

imposição na organização de estruturas muito complexas geridas de cima para baixo (*Top-Down*), expirou. As inovações manifestam-se essencialmente através de abordagens ascendentes envolvendo menores riscos face a crescentes incertezas e a volatilidades constantes sentidas nos próprios mercados.

O impacto e repercussões são diferenciados consoante o estado de desenvolvimento assim como do grau de maturidade das economias dos países em questão (Global Competitiveness Index 2017-2018). Volvidos dez anos após a crise económica mundial o crescimento global melhorou mais rapidamente do que o esperado cifrando-se em 2017 em 3,5% segundo o FMI (Fundo Monetário Internacional), prevendo ainda um ligeiro aumento para o ano seguinte (WEF, 2017a; IMF, 2017).

Os resultados combinados de trabalhos empíricos anteriores de Devezas e Rodrigues (2010) sugerem que estamos a testemunhar uma transição para um sistema económico, cuja trajetória evolutiva está a conduzir o sistema mundial em direção a uma verdadeira idade de transição. Todavia o desempenho continua a ser essencialmente impulsionado pelos países emergentes e em vias de desenvolvimento com 4,5%, do que pelas economias desenvolvidas com cerca de 2%. Apesar destes índices de crescimento, a Suíça continua com a economia mais inovadora do mundo segundo o Competitiveness Rankings (WEF, 2017b) à semelhança do verificado nos últimos seis anos (Gray, 2017). Esta capacidade de inovar e a qualidade das suas instituições de investigação científica representam apenas dois dos fatores entre os doze que possibilitam que o pequeno país alpino se mantenha em lugar de topo neste contexto global. O segundo lugar é ocupado pelos EUA, precedido por Israel e seguido por quatro países europeus (Finlândia, Alemanha, Holanda e a Suécia, respetivamente). O Japão no oitavo lugar parece ter perdido terreno nos últimos anos em termos de inovação antecedendo a Singapura e finalizando os dez mais, com a Dinamarca. A Europa lidera o índice de inovação com seis economias onde o ritmo das mudanças tecnológicas nos últimos anos tem criado grandes desafios e oportunidades. O relatório *The Global Competitiveness Report 2017-2018* refere que a natureza das inovações se alterou substancialmente nos últimos dez anos (WEF, 2017a). Designada segundo os autores por “Distributed intelligence of a global crowd”, deixa de se circunscrever exclusivamente a laboratórios corporativos ou universitários abarcando um crescente número de componentes.

No intuito de avaliar quantitativamente os países da União Europeia (EU) na Indústria 4.0, Berger (2014), no seu relatório “*Industry 4.0 - The new revolution how Europe will succeed*” (Berger, 2014) apresenta um estudo quantitativo, representado através de um gráfico tendo em consideração os seguintes elementos, sendo que cada categoria foi quantificada numa escala de 5 pontos, representando a flutuação possível no grau de preparação dos países analisados para a Indústria 4.0.

- No eixo vertical sob a designação de “Aptidão ou grau de preparação” composto através da avaliação e cruzamento de dados, segundo duas categorias designadas por “Excelência industrial” que se baseia no grau de sofisticação do processo de produção, no grau de automação, na prontidão da força de trabalho e na intensidade da inovação. Que combina

com a “Rede de valor” refletindo, o alto valor agregado, a abertura da indústria, a rede de inovação e a sofisticação da *internet*.

- Representado no eixo horizontal temos a quantificação da produção em percentagem do PIB.

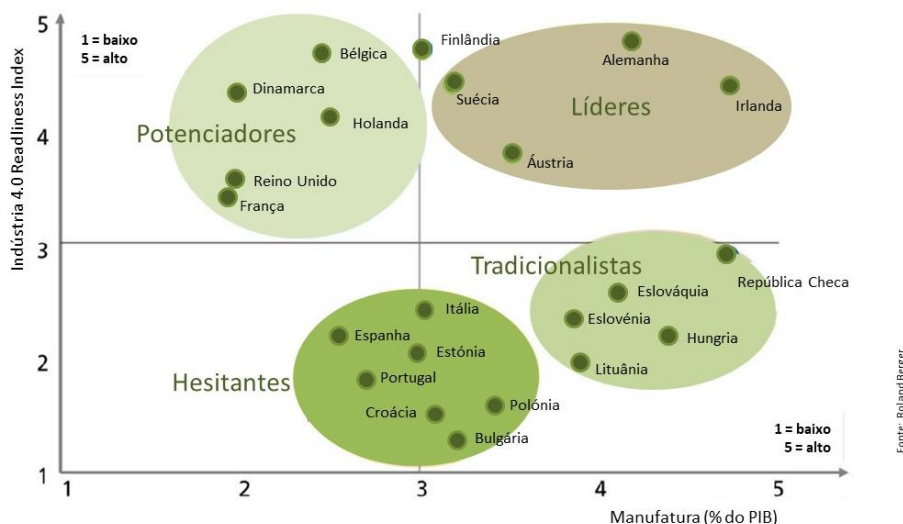


Gráfico 53. Países na Indústria 4.0

A combinação destas categorias analisadas determina a posição de um país no índice dividido em quatro categorias: Hesitantes, Tradicionais, Potenciais e Líderes.

O grupo designado por Hesitantes é composto por países do sudoeste europeu como Portugal e Espanha.

O grupo designado por Tradicionais é composto na sua grande maioria por países do leste à exceção da Itália que se encontra na fronteira com os Hesitantes.

O grupo dos Potenciais é composto por países do centro ou norte europeu como a França, o Reino Unido, a Dinamarca, a Holanda e a Bélgica.

Relativamente ao grupo dos Líderes temos a Alemanha, a Irlanda, a Suécia e a Áustria.

A Indústria 4.0 é apresentada neste contexto como uma oportunidade para alterar as regras económicas do setor produtivo, superando as tendências de desindustrialização a que diversos países foram confrontados nas últimas décadas. No panorama atual é primordial manter uma vantagem competitiva através de produtos ou atividades com alto valor agregado. Segundo os autores esperam-se retornos de capital ROCE⁵³ em média de 15%, gerando lucros que permitem investimentos em novas tecnologias.

Na Indústria 4.0 encontram-se países com diversos graus de desenvolvimento nos processos de produção assim como de competitividade global. Para fornecer uma compreensão quantitativa do potencial impacto mundial da Indústria 4.0 na economia o BCG (*Boston Consulting Group*) publicou um relatório onde exemplifica o caso alemão, em virtude das suas

⁵³ ROCE = rentabilidade X capital intensivo

características peculiares e posição neste contexto. O estudo de Rüßmann *et al.* (2015) aponta para o benefício e impacto em quatro áreas, são estas:

- **No crescimento da receita.**

Esta nova dinâmica proporcionará um crescimento das receitas em virtude de um aumento na procura de equipamentos e aplicações por parte dos produtores, assim como pelos consumidores na procura de produtos cada vez mais personalizados e ou customizados. No geral segundo os autores, estes desenvolvimentos irão proporcionar uma receita adicional de 30 mil milhões de euros anuais, que representa cerca de 1% do PIB.

- **No emprego.**

O impacto da Indústria 4.0 sobre o setor produtivo permite estimular e aumentar o número de empregos em 6%, nos próximos 10 anos. Setores como a Engenharia Mecânica no mesmo período serão ainda mais beneficiados com previsões de 10% de crescimento. Novas habilidades serão exigidas a funcionários com competências diversificadas no desenvolvimento de *software* e nas TIC. Inclusivamente em novas profissões como a “Mechatronics” (Bradley *et al.* 2015), que engloba e combina múltiplas disciplinas como a Mecânica e a Eletrónica no campo da Engenharia. No entanto, a transformação de competências será seguramente um dos principais desafios que se avizinham.

- **No investimento.**

A adaptação dos processos de produção a esta nova realidade impõe que a indústria invista nos próximos 10 anos cerca de 250 mil milhões de euros, segundo estimativa de 1 a 1,5% das receitas totais dos produtores.

Os benefícios estimados demonstram o potencial impacto da Indústria 4.0 para a produção global. O efeito far-se-á sentir sobre produtores e respetiva força de trabalho assim como para os fornecedores de sistemas de produção.

- **Na produtividade.**

O número crescente de empresas e instituições que nos próximos 5 a 10 anos vão adotar este novo contexto impulsionará a produtividade em todos os setores de produção entre 90 a 150 mil milhões de euros. Melhorias de produtividade nos custos de produção que excluem o montante dos materiais variarão entre os 15 a 25%. Por sua vez, se formos considerar o preço dos materiais, os indicadores demonstram ganhos de produtividade que variam entre os 5 e os 8%. O impacto global será diferenciado consoante as características e o tipo de indústria em questão que variam entre os 10 e os 30%. Como exemplo, são fornecidos dados sobre a indústria automóvel face à importância que tem este setor nesta economia, resultando em ganhos médios de 10 a 20% de produtividade.

5.3. Um pouco de história

As Revoluções Industriais são caracterizadas por uma série de inovações na produção e avanços disruptivos nos processos e tecnologias, resultando num significativo crescimento da produtividade. Será a quarta vez que este fenómeno está a ocorrer?

A primeira Revolução Industrial teve origem no Reino Unido no final do séc. XVIII como resultado de uma mudança profunda de uma economia baseada na agricultura para a introdução dos novos métodos de produção mecanizados, impulsionada a água e pela máquina a vapor.

A segunda Revolução Industrial registada nos finais do séc. XIX resultou do advento da produção industrial em série através de linhas de montagem nas novas fábricas eletrificadas, introduzindo gradualmente produtos acessíveis para um consumo de massas. Em 1911, em plena 2ª Revolução Industrial, o Imperador Austríaco, Francisco José⁵⁴ inaugurou em Viena a Casa da Indústria assinalando neste contexto a importância da energia elétrica (contexto intangível). Em 1913, Henry Ford⁵⁵ surge com as mais modernas e inovadoras linhas de montagem em série na indústria automóvel.

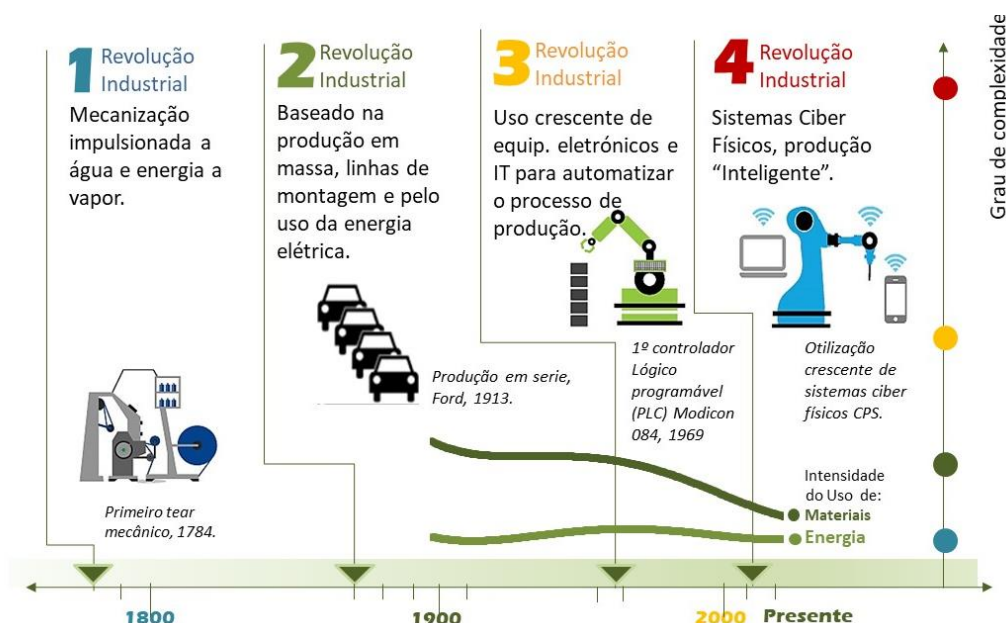


Figura 1. As quatro Revoluções Industriais.

A 3ª Revolução Industrial ocorreu no final dos anos 60 com a introdução de equipamentos eletrônicos e da informática nos processos industriais, abrindo portas a uma nova era de produção otimizada e automatizada, tendo este marco sido simbolizado com o desenvolvimento do primeiro Controlador Lógico Programável (PLC) denominado de *Modicon 084*, no ano de 1969.

Curiosamente a 3ª revolução industrial teve a duração de 50 anos, aproximadamente metade do verificado nas duas revoluções anteriores. Será que as mudanças são mais céleres? E quais serão as respetivas consequências para as inovações?

Levanta-se a questão por parte de outros autores, fundamentada no argumento das inovações físicas nesse período sofrerem essencialmente alterações incrementais, ao contrário das registadas nas duas revoluções que a antecederam. No entanto, é indesmentível que o

⁵⁴ Francisco José I (1830-1916). Imperador da Áustria e rei da Hungria, Croácia e Boémia, de 1848 até à data de sua morte.

⁵⁵ Henry Ford (1830-1916). Empreendedor estadunidense, fundador da Ford Motor Company, responsável pela montagem em série da produção em massa, nas fábricas.

panorama digital e intangível nas TIC e inclusivamente no comércio eletrónico, atingiram patamares assinaláveis.

Estamos aparentemente noutra contexto ainda alicerçados na revolução digital que decorre desde o último quarto do século passado para esta nova conjuntura onde se verifica uma crescente fusão de tecnologias que desfocam as linhas entre as esferas físicas, digitais e biológicas.

5.4. A quarta Revolução Industrial

5.4.1. Revolução, reindustrialização ou evolução?

As revoluções industriais geralmente designam ou ficam associadas a uma transição eventualmente mais abrupta e profunda para novos processos de manufatura num período de tempo relativamente curto. Por sua vez, a reindustrialização reflete uma perspetiva de rompimento com o estabelecido privilegiando em alguns casos sob o espectro de nacionalismos a recuperação do potencial produtivo perdido bem exemplificado por *slogans* similares ao do “*American First*”. A evolução por sua vez neste contexto refere-se a alterações provocadas pela ação das mutações e pela seleção natural, representando uma mudança nas características hereditárias de uma geração para outra (Devezas, 2001).

Um olhar mais atento sobre o fenómeno da Indústria 4.0, proporciona por um lado uma visão otimista, de onde ressaltam também diversos autores sugerindo alguns cuidados e eventualmente a necessidade de alguma relatividade sobre o tema. Ao invés, outros sugerem que este contexto não possui as características para tal, nem sequer oferece uma tecnologia completamente nova (Hirsch-Kreinsen *et al.* 2014), mas em vez disso uma adaptação às circunstâncias, utilizando e desenvolvendo as inovações existentes (Haberfellner, 2015). Segundo eles, os ditos processos imprescindíveis a este novo contexto, são contornáveis e dispensáveis, não representando uma revolução em si mesma.

A pretensão de uma economia industrializada é supostamente a continuação do desenvolvimento das suas estruturas sob a perspetiva de uma evolução que se pode exprimir segundo uma adaptação de conceitos de produção (por exemplo, massificada ou personificada) às necessidades do mercado (Frerichs, 2015).

Para outros autores incluindo Schwab (2016), existem evidências pelas quais as transformações de hoje representam não somente um prolongamento da era digital, mas sim, o surgimento de uma quarta e distinta era, baseada em 3 razões fundamentais e diferenciadas das verificadas anteriormente. A velocidade dos avanços atuais não têm paralelo na história, estamos a evoluir de uma forma exponencial em diversos pontos do planeta em vez do crescimento linear. O escopo de abarcar e envolver a indústria em todos os países e a amplitude da mudança anunciam a transformação completa de sistemas de produção. Impulsionada por SCF - Sistemas Ciber Físicos, a informação dinâmica em rede e a produção inteligente combinam-se revolucionando os processos de produção através de sistemas autónomos onde as tecnologias e os objetos físicos interagem com a *internet*, com as redes, com a eletrónica, com sensores, entre outros, dando expressão a uma nova linguagem global de produção.

Este novo conceito é apoiado pelos defensores da ideia de que agora é possível, vincular elementos previamente isolados na cadeia de produção através de chips RFID (Identificação por Radiofrequência) significando que cada produto pode incorporar informações digitais, podendo ser compartilhadas de modo autónomo e sem interferência humana. As informações assim geradas podem ser analisadas através de dados e processos de computação em nuvem, permitindo detetar e resolver problemas ajustando-se autonomamente a novos parâmetros. Estas melhorias tecnológicas permitem individualizar os produtos até uma única unidade, atraindo o consumidor para o processo de produção personalizada, muito semelhante ao registado na produção artesanal mas com um maior grau de complexidade tanto a nível do *design* como das ferramentas utilizadas.

5.5. O Impacto da oferta e da procura na cadeia de valor

Enfrentar as novas incertezas económicas como a volatilidade registada nos preços da energia e das matérias-primas, conduzem necessariamente as empresas numa procura premente de vantagens operacionais e estratégicas face a uma crescente concorrência global. É consensual que a economia é um aspeto importante na sociedade e tem evoluído ao longo dos tempos reflexo da interação do Homem com o meio. Os últimos séculos assistiram a diversas e profundas transformações sociais que determinaram o percurso, incluindo na agricultura, na indústria e nos serviços. As inúmeras e extensas mudanças verificadas acarretaram uma nova base industrial e trazem consigo novos modelos de negócio e uma adaptação dos processos de produção a uma relação intrínseca estabelecida entre a oferta e a procura decorrentes das necessidades sentidas pelas populações.

A economia ora impulsionada pela oferta ora pela procura, reformula os contextos e dificulta o posicionamento do setor produtivo numa exigência constante de meios e recursos para se adaptarem às novas realidades. Alguns autores como Martin Ford (2009) afirmam que estamos a transitar para uma economia impulsionada pela procura. Como é o caso demonstrativo do *slogan* “*People First*” (Bershidsky, 2017a) utilizado pelo Facebook enquanto aposta no desenvolvimento de algoritmos para a engenharia social.

Atualmente as principais componentes operacionais mais conotadas com o sucesso dos negócios resultam da eficiência das cadeias de valor no mercado de produtos (The Economist, 2009). Ao longo dos últimos anos as empresas adotam a sua oferta face às necessidades expressas ou manifestas no mercado (*Pull*⁵⁶) em detrimento do fornecimento de soluções (materiais, componentes, produtos) para a rede de distribuição (*Push*⁵⁷).

Os princípios de produção “*Just-in-time*” ligados à gestão de *stocks*, preconizada pela Toyota (2007), proporcionaram a sua transformação numa das maiores empresas globais no setor automóvel. No entanto, o crescente ambiente competitivo tornou esta premissa

⁵⁶ Tendência para a adoção de uma economia *Pull* a qual é essencialmente impulsionada pela oferta.

⁵⁷ Em alternativa a uma economia *Push*, essencialmente impulsionada pela procura.

insuficiente perante as cadeias de valor gradualmente mais sensíveis às solicitações dos clientes.

A complexidade nas previsões que incorporem todas as variáveis possíveis que influenciam a procura exige que as empresas alterem os processos anteriormente manuais para sistemas digitais e automatizados em ambientes inteligentes. Que permitem a recolha e correlação de dados relevantes de diversas fontes, utilizando inclusivamente algoritmos para determinar alterações na procura.

5.5.1. O Consumo (*Pull*) – Evolução

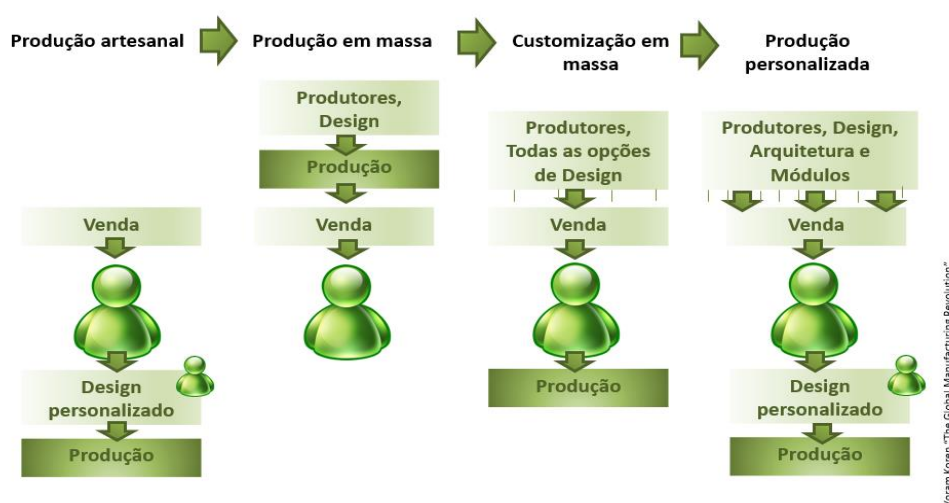
Os novos paradigmas e os motores da produção são o mercado e as necessidades evidenciadas na sociedade. Segundo Yoram Koren (2010), da Universidade de Michigan e membro da Academia Nacional de Engenharia dos EUA em “The Global Manufacturing Revolution”, estabelece uma visão do consumidor no centro do processo entre os diversos padrões de produção.

Constituídos em primeiro lugar pela Produção Artesanal (PA), até ao ano de 1913. Onde a compra do produto ou do bem era realizada antes da personalização (exigências e/ou condicionantes por parte do utilizador), para a produção.

No segundo caso, a Produção em Massa (PM), entre o ano de 1913 e o final da década de 70, onde o *design* das inovações é uma aposta dos produtores aguardando a sua posterior comercialização e aceitação por parte do consumidor.

Posteriormente a Produção Massificada e Customizada (PMC) ainda vigente, é caracterizada por um aumento na variedade de soluções disponibilizadas através de inovações propostas pelos produtores. Contudo, sendo apenas produzidas após a efetivação da compra pelo cliente.

No quarto caso e em paralelo com a customização, temos o último paradigma da Produção Personalizada (PP), sendo vincadamente revestida por uma maior complexidade nas sugestões possíveis e disponibilizadas.



<http://adrge.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/50/2013/08/12pgbook.pdf>

Figura 2. O consumidor no centro da cadeia de valor.

Propostas inovadoras que vão ao encontro das necessidades do consumidor que exigem soluções tendencialmente diversificadas e com maior grau de complexidade, facultando inclusivamente a simulação no *design* personalizado para posterior produção.

5.5.2. Da produção artesanal à personalização em massa (*Push*)

— Revolução

Inicialmente a produção era artesanal baseada na aprendizagem do “ofício”, frequentemente transmitida de pais para filhos. A partir de meados do século XIX, verificou-se uma diminuição progressiva da variedade de produtos disponíveis no mercado. Paralelamente, assistiu-se a um aumento da quantidade por modelo produzido (economia de escala), transitando ao mesmo tempo para uma crescente homogeneidade nas soluções propostas. Neste caso, a economia foi impulsionada pela oferta atingindo os maiores índices em termos quantitativos por tipo de produto, por volta do ano de 1955. O paradigma da produção também evoluiu ao longo dos tempos transitando da artesanal para a massificada impulsionando uma grande variedade dos produtos disponibilizados para um crescente número de pessoas.

Quem não se recorda do Volkswagen carocha que se difundiu por todo o mundo dando expressão a um mercado insaciável que provocou o consumo de milhares de veículos deste modelo? Estávamos no auge da massificação caracterizada por uma certa hegemonia entre produtores e produtos, resultando inclusivamente numa diminuição da competitividade. A procura dos potenciais clientes era constante e superava a oferta disponibilizada pelos produtores. Posteriormente, verificou-se uma mudança para a especialização e diversificação eficiente na produção para ir ao encontro das necessidades individuais dos clientes.

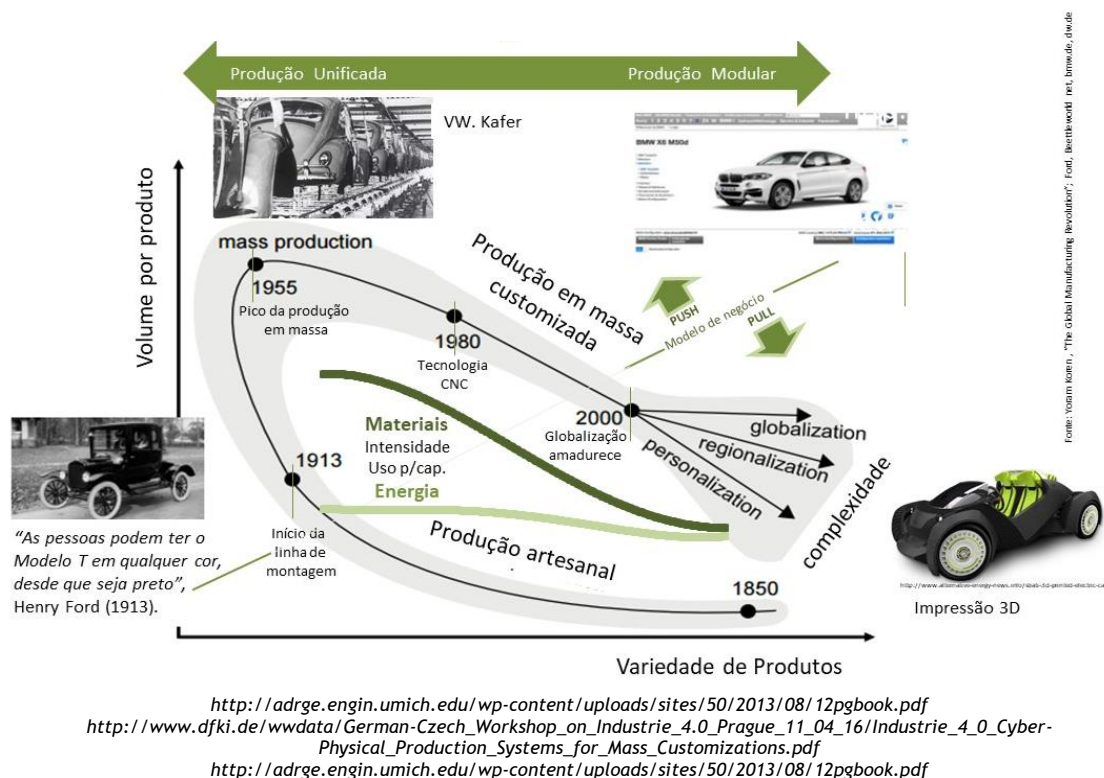


Figura 3. Da Produção artesanal à Produção customizada

Yoram Koren em “The Global Manufacturing Revolution: Product - Process - Business Integration and Reconfigurable Systems” (Koren, 2010), estabeleceu uma linha de transição de uma economia alavancada pela produção ou oferta do século passado para uma economia atualmente alicerçada na procura.

O gráfico abaixo descreve a evolução comparativa do mercado entre a quantidade de produto por modelo no eixo vertical, segundo:

No campo da procura oscila entre: variável e constante.

No campo da oferta entre: maior ou menor que a procura.

No campo da Competitividade entre: maior ou menor.

Por sua vez o eixo horizontal determina os produtos segundo a variedade de menor a maior e quanto às necessidades do cliente que varia entre homogêneos a heterogêneos.

Após a década de 60 verificou-se uma inflexão de trajetória onde o mercado era gradualmente impulsionado pela procura resultando num aumento da variedade de produtos disponibilizados pelas empresas, traduzindo-se numa maior competitividade. Através da introdução da produção customizada, verificou-se uma diminuição da quantidade por modelo ou produto. A partir do ano 2000, foi introduzido um maior grau de complexidade na produção globalizada. Sendo subdividida ou segmentada por uma produção mais personalizada, regionalizada ou de cariz mais globalizado. Estes fatores provocaram um aumento generalizado na variedade dos produtos solicitados pelo mercado assim como uma maior complexidade. Todavia, a quantidade produzida por modelo continuava a baixar reforçando o peso e as especificidades que a procura provoca na cadeia de valor.

Porém, abordar a procura e as especificidades do produto não impulsiona por si só a competitividade das empresas que atravessam um período conturbado de rápidas mudanças impulsionadas pela globalização. A criação de valor depende de uma exploração bem-sucedida das fases precoces e tardias na cadeia de produção, já que a manufatura ou montagem de produtos é o processo que aparentemente agrega menor valor acrescentado.

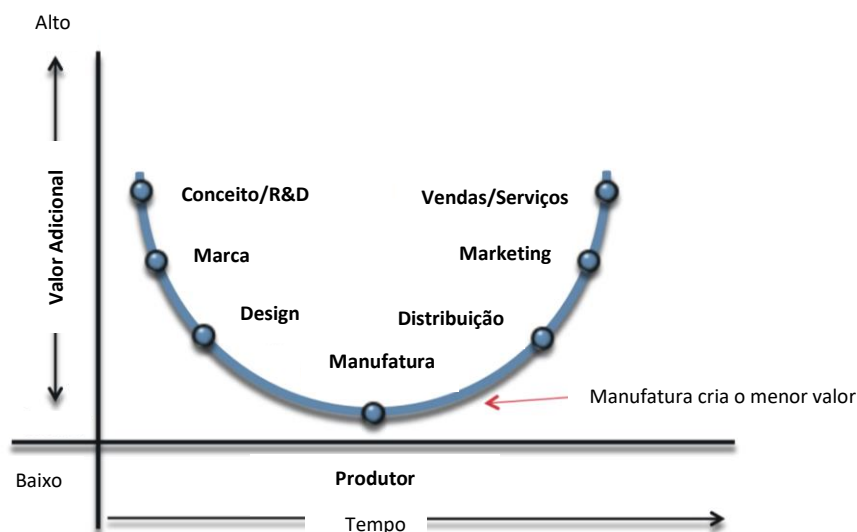


Figura 4. “Smiling curve” de Stan Shih – Valor agregado na produção industrial

Stan (Shih, 2010) apresentou o conceito de “Curva Sorridente” (*The Smiling Curve*) que ilustra os potenciais benefícios agregados ao longo do tempo, dos diversos componentes na cadeia de produção (*figura 4*). Um empresário de Taiwan (baseado na terceirização) que inicialmente produzia computadores pessoais para marcas como a IBM e a Compaq, observou que as grandes empresas com marca própria se tornavam gradualmente mais populares e poderosas, ao invés da dele que ainda continuava voltada para o anonimato (My article, 2012). Os investimentos em Investigação e Desenvolvimento (I&D) em análise, na marca e distribuição, surtiram efeito daí resultando a Acer, (2017) atualmente uma das marcas de computadores pessoais, de *tablets* e *smartphones* mais comercializadas em todo o mundo.

Esta experiência proporcionou-lhe uma visão do conceito em formato de curva segundo o qual ao longo do ciclo de vida do produto, o conceito, a marca, o *design*, a distribuição, o marketing e os serviços pós venda adicionam maior valor ao invés da produção baseada em mão de obra intensiva que se transforma no parente pobre de todo o processo.

É curioso verificar que a grande maioria das pessoas desconhece empresas como a Inventec Appliances (2017) que monta equipamentos para uma marca mundialmente conhecida, a Apple, que atualmente se configura como a empresa mais valiosa a nível global. Qual o motivo desta distinção? A resposta está no início e no fim da curva com o investimento em I&D, na marca no *design* e respetivamente com a distribuição, o marketing e os serviços pós-venda. Estes requerem mão-de-obra qualificada e especializada com remunerações elevadas à semelhança do verificado nas economias que as albergam, em oposição aos países que estão sujeitos aos empregos de baixo nível de especialização.

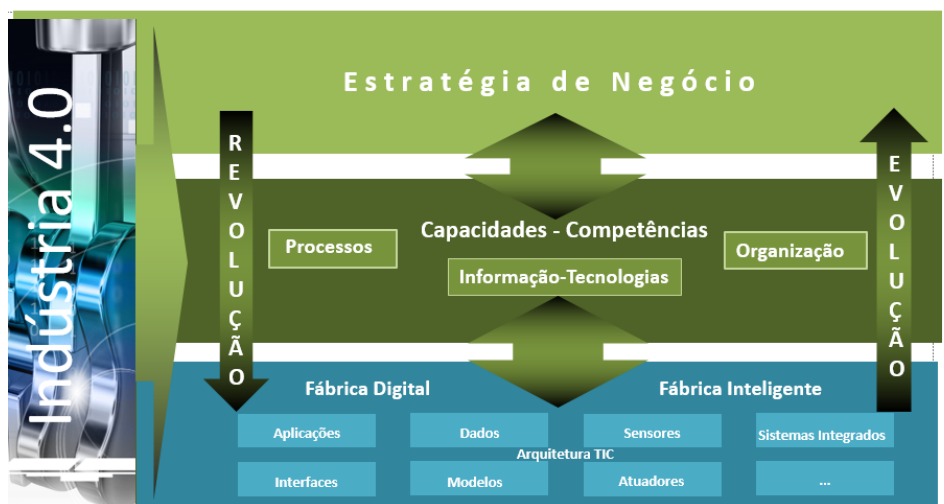
Existe uma estreita relação entre as estratégias para adicionar valor e as sociedades onde se inserem, quer ao nível dos trabalhos que proporcionam quer ao nível de exigências a que a que as populações estão dispostas a pagar. Estes pressupostos conduzem a uma adaptação progressiva das habilidades a sistemas inteligentes de produção, libertando os trabalhadores para atividades de alto valor agregado e melhores remunerações, reduzindo simultaneamente as tarefas intensivas e rotineiras. Esses conhecimentos e habilidades são cumulativos assim como os produtos, os modelos de negócio onde os ambientes se tornam tendencialmente mais complexos, recorrendo e intensificando a utilização de novas tecnologias. A aptidão de uma empresa gerar e usar o conhecimento sobre o mercado, sobre o produto ou sobre o contexto produtivo exercerá uma crescente influência sobre a competitividade e a inovação (International Electrotechnical Commission), (IEC, 2015). A essas organizações face à globalização atual é-lhes exigido como fator de desenvolvimento, um reconhecimento e uma integração em toda a cadeia de valor. A crescente diversidade de opções e exigências, quer a nível de fornecedores quer de clientes obrigam as empresas a funcionarem como *links* por toda a cadeia de valor, como pedra angular de uma adaptação bem sucedida. No ecossistema de produção do futuro, os *links* suportarão, otimizando além dos fluxos de bens físicos os intangíveis, que vão desde a conceção, à distribuição, aos serviços pós-venda, face a uma crescente tendência na personalização.

5.6. Estratégia - Revolução ou Evolução?

5.6.1. Competição: Convergência de fronteiras

Os limites tradicionais da cadeia de valor estão a esbater-se progressivamente. Onde a identidade ou o ADN da empresa se caracteriza por um padrão de interações descentralizadas que fomentam novas adaptações num sistema complexo. Mudanças significativas estão a ocorrer na gestão e especialmente no desenvolvimento e integração de sistemas multifuncionais corporativos, orgânicos e descentralizados de baixo para cima (*Bottom-Up*), em oposição ao anteriormente verificado que assentavam em modelos hierarquizados, lentos e piramidais, de cima para baixo (*Top-Down*).

O fornecimento às empresas de soluções para identificar novos processos e modelos de organização, baseado nas TI - Tecnologias de Informação, tem como objetivo, facultar novas abordagens muito promissoras no contexto industrial. Estes sistemas podem ser utilizados para gerir e apoiar a elaboração e preparação de conteúdos, sustentados por capacidades e competências na implementação da estratégia de negócio. A importância em estabelecer uma visão sobre o intrincado mercado e desafios resultantes com que as empresas produtoras são confrontadas é fundamental. Segundo Koren *et al.* (2016) numa reestruturação, as três principais componentes são: o *design* de produto, a produção e o modelo de negócio, que assentam numa base tendencialmente diversificada (Pearson *et al.*, 2013).



Fonte: http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel_artikel_ansicht&id=60590

Figura 5. Processos na estratégia Corporativa 4.0.

Esta revolução parte da implementação da Estratégia de negócio para a fábrica digital. É sustentada sobre a arquitetura das TIC (aplicações, dados, sensores...) numa estrutura modular auto regulada e inteligente baseada em processos ciber físicos, através dos quais os modelos digitais e objetos inteligentes podem desenvolver-se em unidades autónomas.

Os produtos inteligentes daí resultantes quando distribuídos pelo mercado fornecem preciosas informações para uma próxima etapa, onde as novas solicitações e ou exigências podem conduzir a alterações em que o processo pode ser novamente reformulado, descrevendo uma evolução no desenvolvimento de uma nova variante do produto e da produção.

5.7. Novos Modelos de Negócio

A partir da 1ª revolução industrial a produção tornou-se gradualmente mais centralizada, no entanto as novas tecnologias de produção estão a criar oportunidades de inovação e novos modelos de negócio descentralizados (Pearson *et al.* 2014). Modelos de negócio reconfiguráveis, mais diversificados e redistribuídos geograficamente aproximando a cadeia de valor do consumidor (Gov.UK, 2013). Como resultado, plataformas globais que integram diversos ecossistemas simbióticos avaliam a reciprocidade do impacto que provocam no intuito de usufruir do máximo de benefícios resultantes dessas sinergias (Fransman, 2010). Este termo biológico descreve uma multiplicidade de organismos descentralizados que cooperam e partilham entre si recursos em ambientes e sistemas autónomos, de estruturas locais e globais em constante mudança. São diversas as iniciativas para abordar os desafios que surgem da fábrica do futuro em função do ambiente social e industrial das respetivas regiões ou países com temas desde a personalização dos produtos, a sustentabilidade, às melhorias de eficiência. Tendo elas em comum os objetivos gerais que propõem explorar tecnologias tais como a IoT, a produção aditiva (3D), a Inteligência Artificial, entre outras.

Este novo ambiente de proximidade vai transformar profundamente as redes de produção e de distribuição. Que ao invés de distribuir componentes e produtos físicos, através de meios de transporte tradicionais como aviões, navios e comboios, se vão centrar gradualmente em dados digitais sobre o *design* do produto em si e produzidos em qualquer outro local no planeta, com os respetivos benefícios ambientais inerentes. Esses novos modelos de negócio impulsionados por uma estreita colaboração entre as partes interessadas na produção resultam de diferentes habilidades e conhecimentos suportados pelas tecnologias. Um bom exemplo são as micro fábricas, um conceito internacional que abrange a conceção de unidades miniaturizadas ou processos híbridos integrados no manuseamento e montagem de materiais para produzir produtos de alta precisão de forma totalmente automatizada. Apresentando benefícios quer ao nível da eficiência dos custos e das soluções flexíveis de produção, quer na facilidade de gestão dos distintos processos (Alor-Hernández *et al.* 2016).

Estes pressupostos remetem-nos para novas solicitações em serviços e operações de pedidos diversificados dirigidos a uma comunidade *online* designada por *Crowdsourcing* (Merriam Webster, 2017) O termo foi cunhado por Howe (2006) resultando da fusão das palavras “multidão” e “terceirização” e assenta num processo de obtenção de ideias e conteúdos através da colaboração e cooperação entre as partes (Howe, 2006). Este fenómeno é cada vez mais popular onde as empresas lançam desafios para realizar diversas atividades na resolução de determinados problemas, desde os científicos até ao *design* de produto (Schweissguth, 2014).

Inicialmente apenas um punhado de empresas atribuiu relevância a essa nova interpretação da redistribuição de tarefas e objetivos específicos, para lá dos seus próprios funcionários. No ano de 2012, já eram milhares que adotavam estas novas práticas, segundo o guia “Best Global Brands” (Interbrand, 2012) das doze maiores marcas a nível global, onze realizavam vários tipos de projetos. Envolvendo empresas de alta tecnologia como a Google e

a Microsoft assim como de setores mais tradicionais como a Toyota ou a General Electric. Existem diversos motivos para a alavancagem do conceito pelos fabricantes como a inovação proveniente de novas perspectivas, conceitos e ideias externas à própria organização, adaptadas e testadas às solicitações antes dos produtos serem lançados no mercado assim como na obtenção e integração flexível de novos produtos (Crowdsourcing.org. 2017). Outra das motivações resulta do empreendedorismo (em pequena escala) de comunidades e plataformas de *Do-It-Yourself* (DIY)⁵⁸ e de *Makers*⁵⁹ sustentadas em tecnologias avançadas de produção como a impressão 3D ou CNC, entre outras (Wolf e McQuitty, 2013).

As tecnologias como a impressão 3D, têm o potencial para reformular a economia produtiva de uma indústria massificada para um processo aparentemente artesanal de pequenos estabelecimentos comerciais e novos modelos de negócio baseados no *design*. Estes novos contextos e os seus representantes tornam-se imprescindíveis na aproximação às tradicionais empresas produtoras. Em algumas situações tornam-se líderes bem-sucedidos como o Facebook que aprofunda e diversifica o seu domínio empresarial adquirindo empresas líderes de inovações de diversas áreas incluindo de *drones*. Por sua vez a Google transporta também o seu ADN, migrando para outras áreas, aprofundando esta incursão dos gigantes. O impulso para o sucesso depende em larga medida da implementação de estratégias corporativas ao nível da gestão, a partir do qual surgem modelos de negócio completamente novos baseados em ambientes ciber físicos.

A avaliação do custo por parte das empresas na quantificação da eficácia nas opções e medidas implementadas são imprescindíveis. É frequente verificar que determinados modelos de negócio já estabelecidos se adaptam e triunfam tendo em consideração inclusivamente a crescente concorrência existente, bastando para tal, alterar simplesmente alguma(s) estrutura(s) obsoleta(s) existente(s). A mudança estrutural verificada proporciona benefícios diferenciados para as empresas através da redução de custos e o aumento progressivo da eficiência. No entanto, estes desenvolvimentos tecnológicos também se fazem sentir como um efeito destrutivo. As sucessivas alterações assim como as delimitações num curto espaço temporal de inovações disruptivas ou a destruição criativa de Shumpeter, provocam às empresas dificuldades de planeamento a longo prazo, podendo-se refletir numa redução de investimentos decorrentes das dúvidas e indefinições estratégicas e conjunturais estabelecidas. Por sua vez, os produtos ou serviços industriais com alto valor acrescentado assentes em economias sustentáveis proporcionam retornos positivos transformando-se numa alavanca para a economia.

A transição para uma cadeia de valor em ambiente ciber físico pode ser uma oportunidade para melhorar a forma como se organiza a produção e o consumo na economia global sendo catapultada por novos modelos de negócio, tecnologias e habilidades, segundo

⁵⁸ A cultura DIY - *Do-It-Yourself* (Faça você mesmo) com base na ideia de que pessoas comuns podem projetar, construir, fabricar, consertar ou modificar os mais diversos tipos de produtos.

⁵⁹ O Movimento Maker é uma extensão da cultura DIY - *Do-It-Yourself*.

diversos autores que evocam a importância da “Economia circular” neste novo contexto (Ellen MacArthur Foundation (2017)). Por sua vez, a UE desde o ano de 2015 que tomou medidas destinadas a promover e a financiar este tipo de iniciativas que se enquadrem neste modelo económico (EASME, 2017). Este enquadramento pretende minimizar as ineficiências ao longo do ciclo de vida dos produtos, desde a extração das matérias-primas até à reciclagem. Exigindo uma gestão mais eficiente dos recursos naturais procurando minimizar o impacto dos resíduos prolongando ao máximo a vida e o valor dos produtos e objetos físicos. O aumento do metabolismo global tem proporcionado um debate intenso sobre a crescente escassez de recursos e a repercussão dos resíduos no meio ambiente, como anteriormente mencionado. Como resultado do modelo linear, emerge um novo modelo de negócio baseado na “Economia circular” que permite dissociar (*Decoupling*) o crescimento económico da utilização de recursos naturais e respetiva diminuição de resíduos (United Nations Environment Programme - UNEP (2017) visando a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável (Leal, 2015)).

Estes novos modelos de negócio, um segundo estudo da Accenture Strategy (Lacy e Rutqvist, 2015) podem traduzir-se numa importante fonte de receita ascendendo segundo previsões a cerca de 4,5 triliões US\$, até ao ano de 2030. Diversas iniciativas como a preconizada pelo (WEF) World Economic Forum destacam a importância desta perspetiva de novos modelos de negócio num contexto de Indústria 4.0. (Circulars.Org, 2015). São identificados cinco modelos distintos que comprovam ser bem-sucedidos como:

1- Cadeia de valor (circular)

A escassez de recursos naturais assim como as matérias-primas que têm um impacto nefasto ou prejudicial no meio ambiente, podendo ser substituídos por outros alternativos. O contexto fundamenta-se sobre a introdução na cadeia de valor de materiais recicláveis ou biodegradáveis em ciclos de vida consecutivos que permitem diminuir os custos e simultaneamente aumentar a monitorização do processo.

2- Processo de Reciclagem

A implementação de redes de recolha e de diferenciação dos materiais é fundamental no processo de reciclagem e de reconversão dos resíduos em novos materiais, com benefícios inerentes na cadeia de valor assim como no meio ambiente. Este modelo circular permite transformar o lixo em matérias-primas impulsionando o aparecimento de novos modelos de negócios. Onde o lixo ou os resíduos são considerados matérias-primas fora do sítio, dando expressão ao conceito do ciclo de vida dos produtos desde a extração dos materiais, envolvendo a produção, a sua utilização até à reciclagem.

3- Aumentar a vida útil dos produtos

A maximização da vida útil do produto e otimização na reparação e a reutilização são palavras-chave neste contexto onde os custos decorrem tendencialmente de atualizações em vez da substituição por um novo produto. Estes fatores potenciam o aparecimento de negócios que deixam de ser simplesmente de venda de produtos ou transações, passando para uma

relação mais integrada com os clientes, adaptando, atualizando e alterando os produtos face às necessidades específicas.

4- Plataformas de partilha

Estas plataformas são responsáveis por ter criado 17 mil milhões US\$ (Koetsier, 2015), através de novas tecnologias que impulsionaram novos relacionamentos e oportunidades de negócio. Desde os consumidores até às pequenas empresas que alugam partes, trocam ou emprestam os seus bens ou serviços, como a Uber, a Airbnb ou a Lyft.

Além das mais conhecidas e já mencionadas temos a DriveNow (Reuters, 2017), que resulta de uma parceria que assenta na junção da conhecida BMW e da Sixt (2007), esta última uma empresa de aluguer de veículos desde 2011. Este novo modelo de negócio é baseado na mobilidade, oferecendo diversos benefícios, nomeadamente além de reunir um conjunto diversificado de soluções como nos automóveis (elétricos, descapotáveis e modelos “Premium” ou de gama superior), nas bicicletas e inclusivamente nos transportes públicos, que permitem descongestionar o excesso de tráfego e simultaneamente libertar espaço para as cidades em crescimento. Este contexto advém das profundas alterações sofridas nas últimas décadas quer sociais e demográficas. Segundo as Nações Unidas no ano de 2006 a nível mundial, a população urbana superou a rural, calculando-se que em 2050 esse valor possa atingir os 60%. Outra das vantagens prende-se com os aspetos das crescentes preocupações ambientais que pressupõe mudanças tecnológicas mas também de comportamentos e necessidades. O conceito de *car-sharing* e modelos de partilhas nos meios de transporte transitam da Finlândia (em *franchise* com uma instituição financeira), da Dinamarca (um *franchise* com uma empresa de transportes públicos), assim como da Itália, da Bélgica, da Áustria, da África do Sul, da Suécia e do Reino Unido para Portugal. Este novo princípio surge através de uma parceria com a Brisa (Economia, 2017), operadora de infraestruturas rodoviárias com a DriveNow. Permite estabelecer assim um inovador e diversificado modelo de negócio face a um aumento vertiginoso do turismo através de um crescente e diferenciado conjunto de soluções oferecidas no contexto da mobilidade (veículos inclusivamente elétricos, que englobam a rede de transportes públicos e aluguer de bicicletas).

5- O Produto como um serviço

O produto deixa de ser exclusivamente físico e passa a transportar consigo uma componente digital ou intangível permitindo estabelecer novas relações. A directriz dos mercados atuais voltada para os serviços é aplicada ao ecossistema de produção aumentando a flexibilidade na resposta às múltiplas necessidades e solicitações e dos consumidores.

A cadeia de valor deixa de estar exclusivamente dependente do volume de vendas de produtos, transitando o seu foco para a longevidade, fiabilidade e capacidade de reutilização. O modelo híbrido de produto e/ou serviço altera completamente o modelo de negócio vigente onde o desempenho supera o volume e a durabilidade se sobrepõe à descartabilidade. Criando oportunidades de construir novos relacionamentos em toda a cadeia de valor.

Como exemplo, temos as operadoras de telecomunicações que oferecem telemóveis e *smartphones*, neste caso o negócio deixa de estar centrado na venda do produto em si mesmo (físico), mas transita para um serviço inerente sob uma determinada mensalidade. Outro exemplo mais recente em ambiente inteligente é proporcionado por um modelo de negócio completamente novo baseado na mobilidade e na autonomia de veículos que gerem a sua própria atividade profissional, inclusivamente como contribuintes (...) como se de um ser humano se tratasse.

O novo pode ser extraordinário mas sempre imprevisível, no entanto estes novos modelos de negócio sustentáveis, já deram provas e têm aumentado substancialmente nos últimos anos com grandes benefícios económicos e sociais.

5.8. Fluxos internacionais

Depois de abordar a relevância e o peso que a oferta e a procura têm no setor produtivo, como se enquadra este novo contexto da Indústria 4.0 e das redes digitais nesta nova e exigente cadeia de valor global?

A globalização está a entrar numa nova era não sendo definida exclusivamente pelos fluxos transfronteiriços de bens e capitais, mas complementada tendencialmente por uma nova componente de dados e informações.

Desde o ano de 2008 que o comércio internacional de mercadorias estagnou devido a uma diminuição da procura nas principais economias conjugada e em contraciclo com a queda generalizada nos preços das matérias-primas (Pakiam, 2015). Contraria esta hiperglobalização, regra de décadas em que os índices de crescimento do comércio era o dobro do registado na economia (PIB). No entanto, mudanças estruturais mais profundas também ameaçam o adquirido e o pré-estabelecido. Diversas organizações e empresas estão a simplificar e a encurtar as suas cadeias de valor para determinadas gamas de produtos.

A automação estabelece uma relativização na localização da produção e as decisões de terceirização já não dependem exclusivamente sobre os custos do trabalho. A importância das habilidades e do talento, assim como de infraestrutura, custos energéticos e a velocidade de resposta às solicitações do mercado estão a assumir um peso crescente nessas decisões. Num futuro próximo, a produção aditiva (3D) pode ainda reduzir substancialmente a necessidade de transportar mercadorias através de longas distâncias. Estaremos a caminhar de macro para micro multinacionais? As pequenas e médias empresas da atualidade encontram-se num patamar bastante diferente das tradicionais antecessoras de construção lenta e presença local. Nasceram e desenvolvem-se em ambientes globais em virtude do fácil acesso à *internet* que as conecta rapidamente aos mercados mundiais. Estes factos alteraram as regras do jogo pré-estabelecido e a própria organização das corporações mais jovens e predispostas às inovações disruptivas, possibilitando uma flexibilidade na adaptação a novos modelos de negócios. A procura incessante dos índices de produtividade conjugados com uma maior proximidade com o consumidor, segundo a UE em *Integration of Products and Services* (Gapper, 2015), exemplifica o motivo da preocupação pelo qual muitas e grandes empresas se debatem,

especialmente no setor da produção industrial. As macro multinacionais procuram adaptar-se a este novo contexto ciber físico através de parcerias com jovens empresas no intuito de agregar novas habilidades e talentos. Estas novas relações simbióticas, entre as empresas industriais e as novidades tecnológicas são cruciais para sustentar e liderar a inovação.

Embora o comércio assim como os fluxos financeiros transfronteiriços tenham estagnado desde 2008, os fluxos digitais por outro lado não param de crescer. Segundo uma investigação da McKinsey Global Institute (Manyika *et al.*, 2016) a utilização de informação num contexto digital cresceu 45 vezes ao longo da última década. Estes dados não se confinam exclusivamente a uma comparação na quantificação em termo de volumes (de produtos, informações, serviços...) mas também se traduzem num impacto direto no PIB. Concluindo que os fluxos conjuntos transfronteiriços de bens, serviços, finanças, pessoas e dados contribuíram em 2014, num aumento no PIB mundial em cerca de 10%, representando um acréscimo de 7,8 trilhões de US \$. Por sua vez os fluxos de dados e a componente digital, por si só, representaram cerca de 2,8 trilhões US \$ desse valor, mais de 35%, traduzindo-se num impacto superior ao do comércio de bens globais. Uma descoberta interessante e notável, dado que as redes comerciais no mundo foram desenvolvidas ao longo dos séculos, enquanto num contexto digital os fluxos de dados transfronteiriços surgiram há apenas 15 anos atrás.

Os fluxos digitais oferecem à sociedade novas formas de envolvimento com a economia global, impulsionadas pela difusão dessas tecnologias em ambientes ciber físicos cada vez mais acessíveis e disponíveis. Algumas empresas como a Amazon, a Alibaba, e a eBay, entre outras catapultam milhões de pequenas e médias empresas em todo o mundo para exportadores num contexto micro das tradicionais multinacionais, esbatendo as limitações do mercado local através da conectividade entre os clientes, os fornecedores, habilidades, distribuição..., a nível global.

Existem diversas definições e critérios específicos para caracterizar o comércio eletrónico global, no entanto utilizou-se o aprovado pela OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE iLibrary, 2011).

Mas, qual o peso desta nova realidade a nível global?

No intuito de fornecer e melhorar as estatísticas sobre o comércio digital internacional, as Nações Unidas publicaram um relatório “In Search of Cross-border E-commerce Trade Data, UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development, liderado por Minges (Minges *et al.*, 2016), em colaboração com a Organização Mundial do Comércio (OMC) e a União Postal Universal (UPU). A *internet* como uma nova rede global proporciona uma evolução do comércio digital assinalável. Segundo o relatório da UNCTAD, as vendas a nível internacional através do *e-commerce* foram avaliadas em 236 mil milhões US\$, atingindo os 530 mil milhões em 2017, prevendo-se que supere os 994 mil milhões em 2020. Estes indicadores representam um crescimento anual superior a 27% no período analisado.

Sendo reforçados, embora com as devidas precauções na comparação, pelos dados fornecidos sobre a evolução do tráfego de dados na *internet* pela Cisco, curiosamente os dados mais que quadruplicam, representando valores muito similares de crescimento (Cisco, 2015).

Valores bastante expressivos, mas a *internet* e as redes digitais, só podem crescer se forem munidas das infraestruturas necessárias para conectar a enorme população ainda *offline* no planeta. Segundo a Internet World Stats News (2017), o número de utilizadores em todo o mundo no ano de 2016, já superava os 3,4 mil milhões. Em contrapartida e/ou por outro lado também significa que 54% da população mundial, cerca de quatro mil milhões de pessoas, permanecem desligadas.

Perante esta diversidade de dados os autores (UNCTAD) identificaram e exploram possíveis fontes disponíveis dos diversos segmentos existentes na cadeia de valor, relativas ao comércio global.

— Em primeiro lugar o já conhecido e habitual negócio de mercadorias transfronteiriças que assenta em canais de comércio e distribuição tradicionais até ao consumidor final.

— O comércio de empresa para empresa B2B (*Business-to-Business*), que representa a maior fatia do valor do comércio eletrónico. Envolve versões *online* de transações tradicionais fornecidas posteriormente ao consumidor final através dos locais convencionais de venda. Pode igualmente englobar prestação de bens ou serviços de apoio a outros negócios como a terceirização e o *offshoring*.

— Outro dos casos envolve o comércio de empresa para o consumidor B2C (*Business-to-Consumer*), onde empresas tradicionais diversificam os canais de vendas agregando a componente eletrónica. Estes canais podem englobar redes sociais, portais específicos de venda, plataformas de *crowdsourcing*, aplicativos móveis, entre outros, que proporcionam desde produtos físicos, a produtos e serviços digitais.

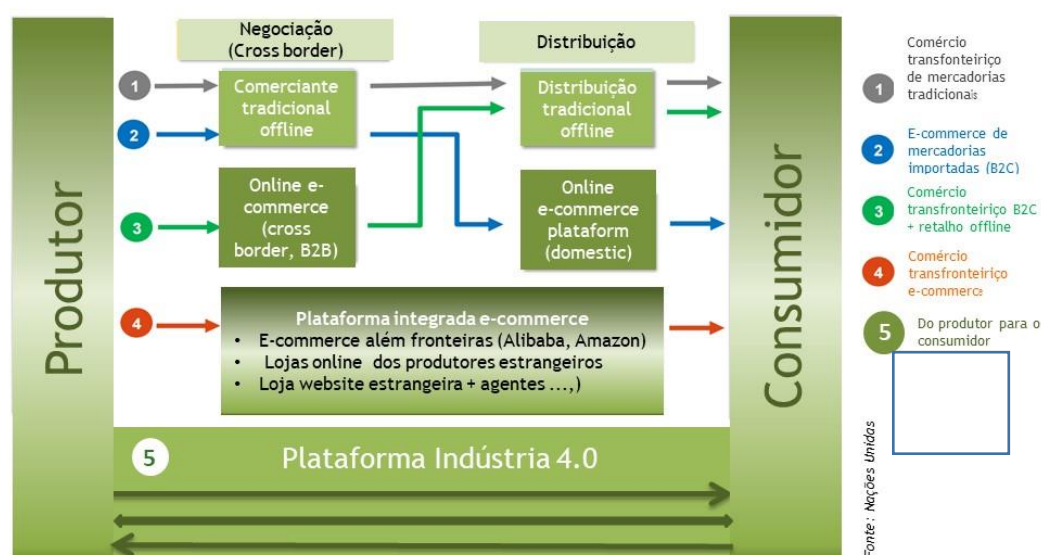


Figura 6. Comércio global do produtor ao consumidor

— Por sua vez, a venda direta entre consumidores através do comércio eletrónico C2C (Consumer-to-Consumer), consiste numa versão moderna do tradicional classificado na secção de publicidade de jornais ou de leilões. Abrangendo plataformas de mercado diversificadas como o eBay, a Alibaba, ou a Amazon, comunidades online, blogs, entre outras.

— Por último o B2G (Business-to-Government), muito semelhante à B2C, no entanto neste caso o consumidor (cliente) é uma entidade governamental, que através de compras eletrónicas públicas formulam pedidos de licitação ou de concursos específicos.

Outras distinções podem ser analisadas como por tipo de produto, o mercado alvo, tipo de dispositivos e os meios utilizados nas transações. Podendo também envolver, desde serviços e compras online de bens físicos, até produtos intangíveis (bens ou serviços) fornecidos em suporte digital, abordado no item 5 “*O produto como um serviço*” (pág.300, alínea 29).

Todavia, nota-se a ausência de um novo contexto generalizado de Indústria 4.0 que assenta no fornecimento direto do produtor para o consumidor P2C (Production-to-Consumer), sem recorrer a canais tradicionais de intermediários, de grossistas ou de distribuidores. Como exceção pode-se apontar o caso da Renault que sob o lema do cliente estar no coração da fábrica através da digitalização e da conectividade prevê suprimir o papel do concessionário na revenda, limitando a sua atuação a serviços pós-venda. Esta perspetiva rompe com os condicionalismos de produção massificada para uma mais flexível, direta e personificada onde cada produto é único, estreitando a relação entre produtor e consumidor. Para tal a marca francesa desenvolve aplicações específicas *online*, onde os potenciais clientes comunicam diretamente com a fábrica as especificidades pretendidas, permitindo os ajustamentos necessários em tempo real na linha de montagem (Calloch, 2017). Segundo a empresa esta opção permite oferecer uma maior diversidade de soluções e em simultâneo, uma otimização dos recursos, que no caso dos supervisores se pode traduzir numa redução diária em cerca de 90 minutos.

Esta perspetiva estimula inclusivamente o aparecimento de novos tipos de atividades paralelas mais próximas entre as quais os “prosumers” ou P2P (Prosumer-to-Prosumer), onde se dilui o conceito de produtor e consumidor. Quanto a estes últimos casos abordados, embora ainda não existam dados disponíveis, seria interessante avaliar e quantificar qual o impacto total deste novo contexto no comércio eletrónico global.

5.8.1. Prosumer

No início do século passado a maioria das pessoas fazia as suas compras em mercados a céu aberto, em pequenos comércios ou diretamente no artesão. Posteriormente foram complementadas por lojas e grandes superfícies comerciais, centros comerciais e hipermercados. Esta dinâmica na cadeia de valor que, ora impulsionada pelo produtor ora pelo consumo permitiu o desenvolvimento de diversos canais paralelos, face às necessidades vigentes.

O crescimento da “*internet das coisas*” possibilitou que os consumidores, produtores e distribuidores usufríssem gradualmente de novas condições e experiências mais conectadas e “*inteligentes*”. As redes digitais estabelecem o suporte dos vários intervenientes que ligam o mundo físico e digital a um ecossistema de produtos cada vez mais diversificados. A *internet*, os drones, os robôs, a impressão 3D e os veículos autónomos têm as características para otimizar e alterar profundamente a cadeia de valor, baralhando ambos os lados da mesma equação,

desde o produtor ao consumidor. A estes factos não é alheio aparecimento no mercado de diversas soluções como as aplicações móveis (APPs), que não existiam há dez anos atrás, atualmente vulgarizadas e utilizadas por milhões de utilizadores a nível global e á distância de um simples “clic”. Rompendo as barreiras físicas onde o conceito de produtor e consumidor se diluem. Dão origem a um novo termo baseado na junção das duas palavras, “Prosumer”. Alvin Toffler, tornou-se conhecido logo após a sua primeira obra denominada “O *Choque do futuro*, 1970” (Toffler, 1998). Escritor e visionário criou este neologismo com a publicação “A *terceira onda*” (1980), tema decorrente da suposição de um mercado saturado de produtos massificados, baseado numa sociedade de informação e de alta tecnologia que seria a sociedade Pós-moderna do século XXI (Toffler, 1980). O desenvolvimento das redes e novas tecnologias permite que um indivíduo munido das ferramentas adequadas (cada vez mais acessíveis) e as habilidades exigidas, tenha o potencial para se transformar também num produtor. Esta nova realidade assenta na perspetiva de complemento à cadeia de valor existente, oferecendo unidades de produção e de consumo com estruturas mais leves e versáteis.

Perante os novos desafios da personalização esta perspetiva desafia os pressupostos convencionais sobre a eficiência da produção de escala. Esta, embora semelhante ao verificado no início de século passado, baseada em métodos artesanais, mas com novas tecnologias incluindo novos processos de produção aditiva (tema a desenvolver em *seção 5.13. Método de Produção Aditiva (tecnologia disruptiva)*, pág.326).

5.9. Da Fábrica digital à “Fábrica inteligente”

5.9.1. Impacto no contexto da produção (Evolução ou Revolução?)

A fábrica no futuro (Factory of Future - FoF) remete-nos atualmente para termos relacionados com a “Fábrica Inteligente” abandonando progressivamente os processos de produção isolados para sistemas integrados e ágeis (System of System - SoS). Esta perspetiva resulta da importância primordial na sua interligação a outras infraestruturas inteligentes. A digitalização de métodos tradicionais de produção e o desenvolvimento de “Fábricas Inteligentes”, que combinam todas as unidades produtivas e integram fornecedores, clientes e parceiros de negócios. Decorem em Sistemas Ciber Físicos numa base tecnológica e numa crescente utilização da *internet*, onde as fábricas autónomas guarnecidas por máquinas também comunicam com outros *sites*, quer internos ou externos num ecossistema complexo de auto-regulação e de produção personalizada através de uma interface que liga o contexto físico e o digital (Marchand, 2015).

Esta visão baseada num sistema global interligado de novas tecnologias de produção, favorecem o aparecimento de novos materiais e novas formas de armazenar, processar e compartilhar dados. As redes, inclusivamente as sociais e empresariais também desempenham um papel fulcral na transformação digital para a Indústria 4.0. Todas essas novas redes e interfaces oferecidas pela Indústria 4.0. (como a “*internet* de coisas”, os serviços, os dados e as pessoas) indiciam que a produção sofrerá enormes mudanças nos próximos anos.

— O que está a mudar na indústria?

Nesta perspetiva de transformação industrial, esta nova paisagem, será uma ameaça ou uma oportunidade? Depende... para alguns com uma postura de indiferença não percecionando para já, qualquer ameaça ao estabelecido. Outros há, que a veem como um sério risco e uma ameaça ao instituído. Para outros ainda, é uma grande oportunidade de reconversão ou inclusivamente no aparecimento de novos atores com modelos de negócios completamente novos, sustentados em novas tecnologias e funcionalidades.

No entanto, segundo investigadores da Universidade de Estugarda (parceira estratégica no fornecimento de soluções para a Indústria 4.0), apontam a existência de alguns fatores corporativos e organizacionais que influenciam este novo contexto e que vão mudar as próprias regras do jogo.

— A normalização das interfaces

Um elemento chave da Indústria 4.0 passa pelo desenvolvimento e implementação de normas. A crescente conectividade de máquinas, peças, produtos, e seres humanos exige novas normas internacionais que definam a interação desses elementos na “Fábrica Inteligente” do futuro. Os esforços para desenvolver esses padrões estão nos primórdios, conduzidos por órgãos governamentais em colaboração com consórcios emergentes unindo forças para impulsionar a rede global com padrões uniformes.

O volume de dados assim como o de redes não pára de crescer. Dentro das empresas a digitalização de projetos, plantas ou um novo produto exigem adaptações, ensaios, testes e uma planificação muito apurada e demorada de todas as componentes envolvidas.

A Indústria 4.0 vai permitir que todo o processo seja inicialmente simulado e verificado virtualmente em 3 dimensões (3D), para posterior preparação para a produção física. Onde o *software*, os parâmetros e as matrizes numéricas normalizadas são instalados e controlam, máquinas e funcionários que intervêm na produção.

A virtualização da indústria não é alheia à complexa rede e canais externos que exigem uma articulação crescente e complexa (Microlinks, 2015) de arquiteturas integradas de dados e processos de forma flexível que resultam numa modularização da cadeia de valor (TheoryBiz.com, [s.d.]).

— Produção flexível

Produção personalizada ou customizada em massa, ingredientes agregados simultaneamente por novas exigências conjugadas com uma flexibilização nos processos de produção. Permitem à Indústria 4.0 representar uma mudança de paradigma da produção "centralizada" para uma "descentralizada", (Germany Trade and Investment (GTAI) em *Smart Manufacturing for the future*, (MacDougall, 2014). Exequível por avanços tecnológicos que constituem uma inversão da lógica do processo de produção convencional. Onde máquinas industriais não se restringem simplesmente a processar o produto, mas a comunicar diretamente com ele. A produção flexível e unitária também necessita de se adaptar rapidamente às exigências ou mudanças de cliente.

As fontes heterogêneas têm proporcionado conhecimentos que desencadeiam uma estrutura centrada no consumidor mas em paralelo disponibiliza novos modelos de armazenamento e de produção em função das exigências. Estes ingredientes permitem inclusivamente o fabrico de objetos adaptados às necessidades do segmento por cliente (até uma unidade), com custos associados relativamente competitivos comparativamente aos produtos massificados. A produção altamente individualizada, de baixo volume e em tempo real torna-se a norma, à medida que novos Sistemas Híbridos Colaborativos com assistentes industriais viabilizem novas formas de produção Homem-Máquina (H2M) e Máquina-Máquina (M2M), numa paisagem industrial em constante mudança.

A Indústria 4.0 conecta inovadoras tecnologias de produção de sistemas embutidos e processos de produção inteligentes de modo a abrir caminho a uma nova era industrial que transformará radicalmente as cadeias de valor da indústria, da produção e os modelos de negócios nas fábricas inteligentes do amanhã.

As novas tecnologias associadas impulsionam uma “produção inteligente” desempenhando um papel fulcral e transversal em todo o processo em que sensores, os robôs de última geração e a impressão 3D, permitem novos processos de produção ajustados e reconfigurados em tempo real. As unidades produtivas configuradas de uma forma mais “descentralizada” e flexível proporcionam a circulação de dados, transferindo gradualmente a produção de pequena escala para *clusters* e “*marketspaces*” de cariz regional. A localização de empresas e ou de *clusters* será dispersa em função das habilidades disponíveis. As oportunidades decorrentes deste ambiente ciber físico deve reduzir as barreiras na entrada de pequenas unidades ou baseadas na especialização. Os desafios são enormes e os negócios são estimulados pela crescente complexidade das redes de produção e fornecimento. Aventa-se a possibilidade de unidades móveis ou de pequenas unidades autónomas possam ser itinerantes modificando a abordagem e contexto das existentes (fixas) para uma perspetiva mais dinâmica e biológica de novas estruturas face às necessidades do mercado. Onde a distribuição baseada em novos processos só é despoletada após os dados circularem e serem confirmados ou efetivados entre os fornecedores e os clientes até à produção final. Uma experiência pessoal foi poder acompanhar já em 2011 as etapas de montagem de um automóvel de marca Peugeot. Inclusivamente, dentro do processo após a compra foi possível fazer alterações na instalação dos faróis.

Os produtores, face ao mercado ser tendencialmente impulsionado pela procura, adaptam os seus processos de produção cada vez mais modulares face às exigências e solicitações. Desta forma o grau de complexidade dos sistemas de produção aumenta assim como os requisitos de fiabilidade das funções de comunicação e controlo. Esta interceção favorece a vinculação do mundo das TIC, das redes, entre outras..., com a produção industrial.

— Redes ubíquas no processo de produção

A gestão de recursos face a um aumento das solicitações, obriga a uma permanente atualização e envolvimento constante dos diversos setores. A gestão da informação proveniente de diferentes sistemas quer da produção, encomendas, contabilidade, entre outros, fornecidos

através de interfaces padronizados, favorecem a comunicação assim como a transferência de dados entre os intervenientes.

É o caso da plataforma alemã - RAMI (Rede Arquitetura de referência Modelo para e Indústria 4.0), e da plataforma IIRA (*Internet Industrial Reference Architecture*) que foi criada pelo governo Americano, complementada por outra homóloga em 2014, designada por Industrial Internet Consortium - IIC, que resulta da iniciativa privada, com várias empresas, como a Microsoft e a IBM. Ambos os modelos assentam em redes e na sua interoperabilidade. Fatores fundamentais para alavancar a ubiquidade através da junção ou fusão entre o mundo virtual e digitalizado com a produção física, no intuito de se fundirem inclusivamente com os produtos e/ou serviços.

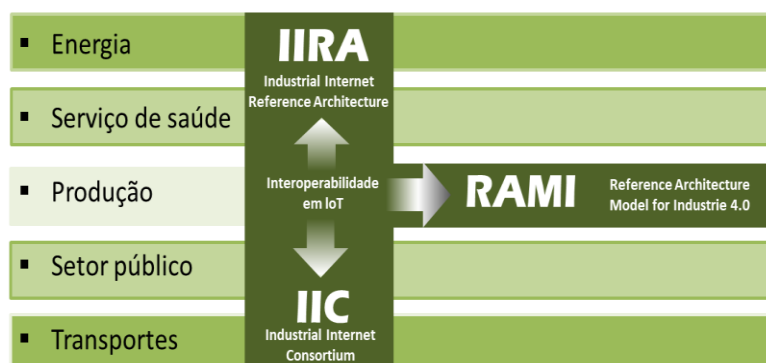


Figura 7. Cooperação da Plataforma Indústria 4.0 e da Internet Industrial, Estratégia Corporativa na arquitetura dos modelos RAMI (referência para a indústria 4.0) e IIRA (referência para a Internet Industrial). Consórcio em iniciativas conjuntas de normalização e testes.

— Interdependência entre os diversos níveis de Valor Acrescentado (VA)

As redes de produção tendencialmente interligadas e complexas favorecem as ligações em rede e a interdependência dos meios de produção face à fragmentação da cadeia de valor. As unidades de produção transformam-se em unidades corporativas onde as linhas de montagem podem inclusivamente ser constituídas por diversos fornecedores (várias empresas numa só). Para Wolfgang Wahlster, CEO da DFKI, [s.d], o novo paradigma da Indústria 4.0 passa por uma nova e perfeita interoperabilidade num ambiente de múltipla adaptabilidade de produção. Onde o papel dos *designers*, dos fornecedores e de todos os intervenientes sofrem profundas alterações. A fragmentação é complementada, inclusivamente impulsionada pela entrada de novos participantes. Novas realidades e desafios de adaptação obrigam a reestruturar estratégias face aos custos e aos proveitos de tais transformações.

— Recursos humanos / habilidades

No mercado de trabalho, os recursos humanos com habilidades e técnicas específicas em constante mutação, constituem neste contexto um dos valores intangíveis de maior relevo. É difícil de prever o tipo de profissões que vão surgir assim como o seu impacto neste novo ambiente ciber físico, sobretudo se utilizarmos os padrões vigentes. Nesta perspetiva as atividades humanas (profissões) devem ter como foco principal as habilidades ou o conjunto de habilidades para suprir necessidades latentes ou manifestas na sociedade. Assim como quando

se quantifica a evolução da tecnologia se recorre à unidade mínima de medida que é a técnica, na biologia o ADN, nas profissões supostamente são as habilidades.

Num universo produtivo tendencialmente autónomo e robotizado, qual o papel das pessoas neste novo contexto, onde as máquinas interagem autonomamente e em rede sem interferência humana?

Desde a primeira revolução industrial num contexto de redes físicas e de técnicas desenvolvidas com máquinas, ferramentas e mais recentemente com redes digitais, que se pretende otimizar os processos de produção. Processos estes que remetem aparentemente os seres humanos para uma inutilidade à medida que evoluem as tecnologias.

A Ford Motor Company com as suas cadeias de montagem permitiu a produção massificada de produtos padronizados; no Japão a Toyota insurge-se posteriormente por uma estreita relação entre as esferas do consumo e da produção (*Just-in-time*).

No mercado de trabalho os empregos ou as habilidades exigidas estão em permanente mutação. Só no virar do século os serviços atingiram 36% dos empregos disponíveis igualando pela primeira vez os proporcionados pelo setor agrícola. Em 2010, mais de metade dos empregos a nível global eram proporcionados pelos serviços, a indústria com menos de 30% e a agricultura com menos de 20% (World Bank, 2010).

Novas exigências e competências se deparam neste processo contínuo e novas habilidades se perfilam para colmatar esta permanente mudança. A gestão de habilidades neste contexto torna-se primordial onde a formação específica e a perspetiva interdisciplinar é fundamental. As tecnologias preponderantes na Indústria 4.0 são diversas, desde a eletrónica à robótica e à IA, abrangendo inclusivamente outras áreas do conhecimento como as nano e as biotecnologias. As habilidades em permanente mutação exigem aprendizagens contínuas que por si só se transformam numa competência básica e primordial neste processo evolutivo. As competências colaborativas e interculturais em rede exigem uma crescente conexão padronizada e interdisciplinar de especialistas em dados, que aprofundam e complementam o role de profissões existentes. Estas novas funções com designações ainda por determinar, gradualmente conquistam o seu espaço como parte integrante das diversas estruturas existentes na cadeia de valor.

Atualmente os tipos de habilidades mais solicitados segundo a Career Builder e Economic Modeling Specialists Intl (EMSI), são estabelecidos mediante os critérios da oferta e da procura e das respetivas remunerações. Para tal, os autores elaboraram uma vasta base de dados de onde concluem, que nos EUA já existem mais de 100 tipos de ocupações que não preenchem as necessidades do mercado de emprego. A generalidade destas oportunidades são essencialmente em sectores tecnológicos e da saúde, tendo provocado um aumento nos salários médios oferecidos para atrair os talentos com as habilidades certas. Alguns dos exemplos mais significativos destacam-se como *Software developer; Applications; Industrial engineer; Network and computer systems administrator; Web developer; Computer-systems analyst; Mechanical engineer*, entre outros. Este panorama levanta questões fundamentais... Estaremos

a formar e a habilitar as pessoas corretamente? Ou, teremos as habilidades certas para o século errado?

Segundo Devezas (2011), estamos a testemunhar, pelo menos nos EUA uma crescente lacuna entre as inovações e as habilidades educacionais associadas. A combinação da globalização e das TI gera oportunidades em todo o mundo, no entanto desencadeia-las carece de uma melhoria dos sistemas.

As habilidades exigidas atualmente são bastante diferentes das solicitadas em gerações anteriores, segundo o BLS (Bureau of Labor Statistics, 2017). Até 2020, cerca de 35% das habilidades serão reconvertidas e bastante diferentes das existentes (Bureau of Labor Statistics, 2017). Estas mudanças carecem no entanto de atualizações constantes das habilidades e uma reconfiguração dos recursos humanos. Um relatório da World Economic Forum (WEF, 2017c), alerta para que um em cada quatro funcionários, manifestaram uma incompatibilidade entre as habilidades que possuem e as que são exigidas no seu trabalho atual.

Aqui está um problema, hoje em dia as oportunidades de emprego que estão disponíveis requerem habilidades do século XXI. No entanto a grande moldura dos recursos humanos disponíveis ainda está alicerçada em técnicas do século anterior, assim como o modo como a nossa sociedade está a formar e a educar as pessoas. Alguns indicadores positivos vêm de um relatório do Fórum Económico Mundial (WEF, 2017b) que descobriu que 63% dos trabalhadores nos EUA dizem ter participado em formações relacionadas com o trabalho desempenhado nos últimos 12 meses.

O facto de essas mudanças estarem a acontecer num momento de preocupações significativas de desemprego e um aumento da instabilidade social, sugerem que as empresas possam sofrer uma crescente pressão para alinhar as estratégias de negócios e o emprego com o que é considerado política e publicamente aceitável. Ao mesmo tempo, as empresas enfrentam uma guerra feroz para talentos qualificados com o *know-how* tecnológico e a experiência de liderança para moldar as estratégias digitais. Face às discrepâncias no mercado entre a oferta e a procura atual, as empresas necessitam de se concentrar mais na formação e na reconversão de funcionários existentes para desenvolver habilidades em áreas de crescimento crítico. Este assunto tem captado o interesse de diversas instituições, universidades, governos e organizações que têm desenvolvido esforços no sentido proporcionar um conjunto diversificado de artigos e relatórios sobre o tema onde a componente digital é ubíqua. É o caso do relatório designado por *LinkedIn Workforce Spotlight* (Linked in, 2016), que traça um mapa digital da economia (através da análise de dados de mais de 400 milhões de trabalhadores em mais de 200 países) onde enumera os 25 conjuntos de habilidades com maior relevância em termos da oferta e da procura de empregos a nível global. Que oscilam entre a *Cloud and Distributed Computing*; *Statistical Analysis and Data Mining*; *Mobile Development*; *Virtualization*, entre outras.

No intuito de auxiliar na interpretação sobre a variação verificada em termos percentuais das dez habilidades adicionadas ultimamente nos seus perfis, entre os membros

participantes com títulos específicos (empregos) por países, a McKinsey Global Institute Analysis apresenta um relatório denominado *Global flows in a digital age*, que refere o Connectedness Index Ranking - MGI (Manyika et al.2014). Onde se conclui que essa evolução não é homogénea segundo as diversas economias. Por exemplo, enquanto nos EUA se registou um aumento mais significativo no campo das comunicações, por sua vez na Índia foram as habilidades no campo da aprendizagem na utilização de maquinaria. As economias avançadas dominam o Índice de Conectividade da MGI, onde os fluxos estão desproporcionalmente concentrados entre um pequeno conjunto de países, incluindo os EUA, o Reino Unido, a Alemanha e Singapura, verificando grandes desequilíbrios entre os líderes e os retardatários. A China, como economia emergente é a única exceção a alcançar a lista dos dez melhores países classificados no índice, ocupando a sétima posição.

Além do referido mencionar a questão do aumento na criação do próprio emprego quer por necessidade ou oportunidade, será uma realidade ampliada nas próximas décadas a aparição dos Youtubers⁶⁰, dos Prosumers, dos Makers (ou DIY - *Do-it-yourself*), dos Turkers⁶¹ e dos *Peer-to-Peer*. Repensar o trabalho e as habilidades é crucial tanto para as economias industrializadas, bem como as economias emergentes, onde as perdas de emprego são sentidas, mesmo com a presença de crescimento económico.

5.9.2. Segurança de dados

São diversos os chavões no campo da segurança e na proteção da identidade, do negócio, do utilizador, da aplicação, de dados, entre outros, neste florescente mercado de salvaguardas. A “Fábrica Inteligente”, envolvida por uma nuvem crescente de dados fomentados inclusivamente por clientes interligados a fornecedores numa rede corporativa, levanta determinadas questões nomeadamente, como proteger os diversos sistemas a determinados ataques externos? O planeamento adequado embora não afaste todos os ataques do espectro tenta sobretudo minimizar os riscos decorrentes dessas mesmas atividades. A importância na segurança e proteção de dados alcançou outros patamares em virtude da base de sucesso poder inclusivamente advir de quem os possui. O crescente fluxo de informação como a *Big Data*, assim como o conhecimento profundo dos dados disponíveis é fundamental para a empresa, proporcionando-lhe um valor acrescentado e uma base para um negócio de sucesso.

⁶⁰ Os YouTubers são utilizadores da Plataforma “YouTube”, que utilizam a web como fonte de liberdade alternativa para expor os seus pareceres, opinando acontecimentos, experiências, partilhando conhecimento e o seu próprio quotidiano e que por vezes se tornam referências para a sociedade (sem intenção) adquirindo autonomia económica com base nestas atividades.

⁶¹ O apelido deriva da Mechanical Turk, um serviço da Amazon que permite a subcontratação de pessoas do todo o mundo para completar trabalhos específicos. A empresa inspirou-se no nome de uma máquina do século XVIII criada por Wolfgang von Kempelen, que jogava magistralmente o xadrez.

5.10. Tecnologias (Revolução)

A tecnologia está a transformar a experiência humana, a medicina está a derrubar antigas crenças sobre o que significa ser humano, enquanto os avanços científicos alteram a nossa compreensão sobre o mundo, nós mesmos e o nosso lugar dentro “dele” (BBC summit Sydney, 2016).

Existem fortes evidências de que as tecnologias que sustentam a Quarta Revolução Industrial têm um grande impacto sobre as empresas (WEF, 2017c). Assiste-se à introdução de inovadoras tecnologias que geram formas completamente novas, indo ao encontro das necessidades do mercado, modificando significativamente as cadeias de valor. O acesso a plataformas digitais globais de vendas e distribuição, investigação e marketing, podem alterar radicalmente o panorama estabelecido.

A Indústria 4.0 baseia-se sobre um conjunto de redes intangíveis, manifestando-se tanto no interior da empresa entre os diversos departamentos e setores verticalmente (*Bottom-up*), quer horizontalmente entre as empresas assim como por toda a cadeia de valor. No final do século passado a conectividade era uma característica exclusiva do mundo digital, neste novo contexto da Indústria 4.0, o mundo digital e o físico estão conectados. Máquinas, peças, sistemas e seres humanos trocam constantemente informações digitais através da *internet* (Deloitte, 2015).

Dos Sistemas Integrados aos Ciber Físicos (*Cybert-Physical Systems* - CPS), representam o próximo passo na revolução da incorporação em sistemas. São as forças transformadoras que orientam o ímpeto tecnológico para identificar soluções para um novo mundo. Os Sistemas Ciber Físicos já contribuem para a segurança, para eficiência, para a saúde e diversas outras áreas anteriormente inimagináveis. Ao fazê-lo, eles desempenham uma parte central abordando os desafios fundamentais colocados pela mudança demográfica, escassez de recursos naturais, mobilidade sustentável e mudança de paradigma energético.

A revolução dos Sistemas Integrados aos Ciber Físicos incorporados na “*Internet das Coisas*” retrata uma visão abrangente e global. Inicialmente e como ponto de partida temos os Sistemas Integrados que eram incorporados em sistemas fechados, como por exemplo nos *airbags*. As recomendações seguintes, consistiam nos Sistemas Integrados em redes locais, já realizadas pelo National Roadmap Embedded Sistemas (Reinhold Achatz *et al.*, 2009). Sendo posteriormente complementado pelo estudo “Agenda CPS” da Acatech (Internet Archive, 2011), que ampliou o espectro para redes globais, dando como exemplo, as estradas em redes inteligentes que utilizam informações de engarrafamentos de trânsito ou de peões em passeadeiras.

Os Sistemas Ciber Físicos representam o próximo passo da junção do mundo físico com o digital no sentido de proporcionar redes e “Fábricas Inteligentes”. No futuro, os ambientes inteligentes que resultam da interação com o meio envolvente, proporcionam o desenvolvimento de cidades e regiões digitais. Por último a “*Internet das Coisas*”, que se refere a sistemas de tecnologias de informação e comunicação conectados a todos os subsistemas,

processos, objetos internos e externos, redes de fornecedores e clientes, comunicando e cooperando através da *Big Data*, dos dados em nuvem e com serviços interativos em tempo real.

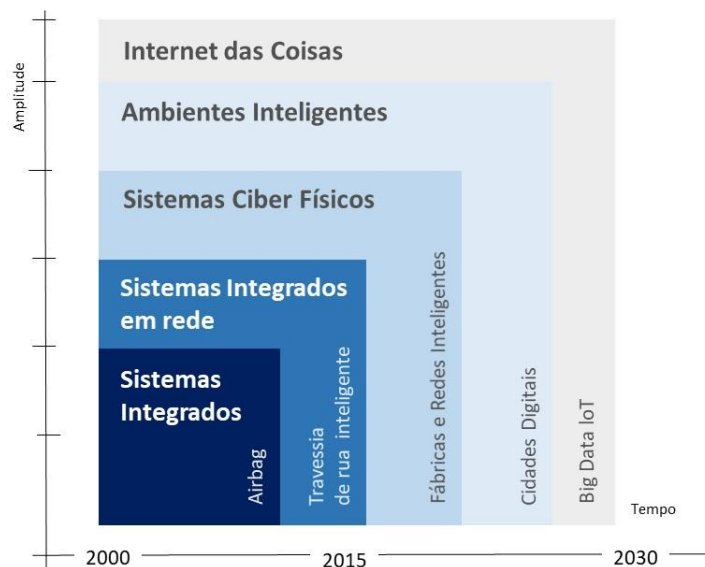


Figura 8. Evolução dos Sistemas Integrados aos Ciber Físicos

A Indústria 4.0, conecta inovadoras tecnologias de produção com sistemas integrados e processos de produção inteligentes para alavancar uma nova era na produção que transformará as cadeias de valor como um todo. Estabelecendo uma analogia com a lei de Moore⁶² baseada na capacidade dos *microchips*, redes e computadores duplicarem as suas capacidades a cada 18 meses, representando um crescimento exponencial à semelhança do verificado com as tecnologias emergentes.

As tecnologias com crescimento exponencial segundo o relatório da Deloitte (2015), são a Impressão 3D, os sensores, a Inteligência Artificial, a robótica, os drones, as TIC e tecnologias móveis, as nanotecnologias, as biotecnologias, as neurotecnologias assim como as tecnologias que advém das novas energias e a da sustentabilidade. Elas modificam e flexibilizam radicalmente o processo tecnológico proporcionando um crescimento na cadeia de valor.

A importância das tecnologias e dos sistemas resultam essencialmente da interação e de adaptações tecnológicas, não se confinando às ferramentas em si, mas tendencialmente na sua adaptação aos utilizadores. Aparentemente uma tendência chave é o desenvolvimento de plataformas que combinem simultaneamente a oferta e a procura sem perturbar diretamente as estruturas industriais existentes.

No intuito de aprofundar o conhecimento sobre as tecnologias que irão moldar o futuro, foi publicado um estudo envolvendo mais de cinco mil entrevistados constituídos por CEO(s)- (IBM, Global C-suite Study, 2015), de mais de 70 países. Onde se enumeram as tecnologias que serão particularmente importantes nos próximos 3 a 5 anos. Destaca-se a computação em

⁶² Lei de Moore surgiu em 1965 através de um conceito estabelecido por Gordon Earl Moore. Quando este afirmou, o número de transistores dos chips teria um aumento de 100% nas capacidades, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses. Essa profecia tornou-se realidade e acabou ganhando o nome de Lei de Moore.

nuvem e respetivos serviços associados, registando a preferência para 63% dos entrevistados. Em segundo lugar, a opção recaiu para as Soluções Móveis, com 61%; A “*internet das coisas*” com 57%; a Computação cognitiva com 37%; a Produção com tecnologia de ponta com 28%; as Novas fontes energéticas e soluções com 23%; a Bioengenharia com 12%, e finalmente os híbridos de Homem-Máquina (H2M), com 10%.

As tecnologias que formam a base para a Indústria 4.0, provavelmente já foram implementadas em diversas empresas isoladas e otimizadas em Sistemas de Produção Ciber Físicos (CPPS - CyberPhisic Production System). Reforçam uma integração que permite alavancar a cadeia de valor como um todo. Segundo o The Boston Consulting Group (BCG), são nove os pilares do avanço tecnológico (Rübermann, 2015). A Big Data, os Robôs autónomos, a Simulação, os Sistema de Integração Horizontal e Vertical, a *Internet das Coisas*, a Ciber segurança, a nuvem, a Impressão 3D e a Realidade Aumentada.

Embora a generalidade das tecnologias sejam coincidentes em diversos estudos sobre o tema algumas especificidades devem ser ressaltadas e desenvolvidas:

5.10.1. Big Data

Os dados são muitas vezes conotados como a matéria-prima do século XXI. A análise de um grande número de dados emergiu recentemente no setor de produção, onde a padronização da informação visa proporcionar um aumento dos níveis de otimização, na eficiência energética e na qualidade.

O fluxo de dados disponíveis para as empresas, devem duplicar a cada 1,2 anos (WEF, 2017c). Métodos inovadores para lidar com grandes quantidades de dados permitirão beneficiar o potencial da computação em nuvem, criando novas formas de alavancar a própria cadeia de valor como um todo.

5.10.2. Robôs autónomos e “inteligentes”

Os robôs já fazem parte do ecossistema industrial há algumas décadas, no entanto nos últimos anos verifica-se uma evolução na sua autonomia, na flexibilidade e na cooperação. A interação deixa de se confinar exclusivamente, entre máquinas assumindo uma nova abrangência, incluindo com humanos. Atualmente na Europa o setor industrial assim como os seus fornecedores originaram praticamente uma duplicação do seu número desde o ano de 2004. Segundo dados da IFR - International Federation of Robotics, o número de robôs industriais implantados em todo o mundo aumentará para cerca de 2,6 milhões de unidades até 2019. Isso é cerca de um milhão de unidades a mais do que no ano recorde de 2015 (International Federation of Robotics, 2016).

Cerca de 70% dos robôs industriais estão atualmente a trabalhar em segmentos da indústria automóvel, elétrica e eletrónica, na indústria de metais e maquinaria. Em 2015, o crescimento mais forte no número de unidades operacionais registradas na indústria eletrónica, apresentou um aumento de 18%. A indústria de metais com um aumento de 16%, e setor automóvel cresceu em cerca de 10%. No que diz respeito às tendências tecnológicas, prevê-se que as empresas utilizarão aplicações entre Homem-Máquina (H2M) simplificadas e robôs leves

(mais pequenos e colaborativos). O foco incidirá em robôs modulares e sistemas robóticos, que tendencialmente demonstram uma redução substancial dos seus custos catapultando a sua disseminação a nível global. A procura entre os clientes por robôs industriais também será conduzida por uma série de fatores que incluem o manuseamento de novos materiais, a eficiência energética e novos conceitos de automação, permitindo que a fábrica do mundo real e do mundo virtual estejam interligados entre si, conforme a definição da Indústria 4.0 e a “*Internet Industrial das Coisas*”.

Na Indústria 4.0 os robôs e os humanos desempenham funções lado a lado, em tarefas de interligação através de interfaces Homem-Máquina (H2M) e sensores inteligentes. A utilização de robôs tende a ampliar-se de modo a incluir várias funções quer na produção, quer na logística, assim como nos escritórios. Estes podem ser controlados remotamente, resolver problemas através de instruções permitindo uma produção ininterrupta de 24 horas por dia.

Curiosamente, uma das questões mais debatidas, talvez uma consequência, ou seja, o desemprego daí resultante. O estudo da Universidade de Oxford aponta para que os robôs sejam responsáveis por uma diminuição de 47% dos empregos existentes nos EUA nos próximos 20 anos. Por outro lado, o efeito da automação também se pode revelar positivo no número de empregos, confirmado por um estudo citado pela IFR (International Federation of Robotics), que foi publicado pela ZEW, em parceria com a Universidade de Utrecht (Frey e Osborne, 2013).

Os inúmeros programas de automação utilizando robôs tiveram um efeito positivo no emprego ao nível global. No setor automóvel alemão, por exemplo, o número de funcionários aumentou paralelamente ao crescimento da automação robótica ou seja, entre o ano de 2010 e o de 2015 cresceu em média 2,5%. Em simultâneo o contingente operacional de robôs industriais revelou um aumento em média de 3% ao ano. Em essência, a diminuição dos custos de produção com recurso a robôs resultam numa diminuição dos preços de mercado, favorecendo a procura que por sua vez desencadeia maior número de empregos (IFR, 2016).

Esta perspetiva industrial progride para os serviços, para o lazer, para a medicina e transversalmente por toda a sociedade. Levantando a seguinte questão, quando e em que tarefas é que os robôs podem suplantar os níveis de desempenho alcançados pelos humanos? Segundo Grace *et al.* (2017) “*When will AI exceed Human performance? Evidence from AI Experts*” (do Instituto do Futuro da Humanidade da Universidade de Oxford; AI Impacts & Department of Political Science, Yale University). Após um inquérito correspondido por parte de 352 especialistas num universo de 1 634 indivíduos do setor industrial e do meio académico a nível global, esta investigação utilizou o termo “Máquina inteligente de alto desempenho” (High-Level Machine Intelligence - HLMI), para definir quando a máquina supera autonomamente os níveis de desempenho realizados pelos humanos, sendo simultaneamente vantajoso em termos económicos. As respostas forneceram dados aos investigadores que lhes permitiu calcular a mediana da HLMI, com base nas suas previsões para a próxima década. Indicando que irão superar os humanos em tarefas como a tradução de idiomas até 2024, a redação de ensaios do ensino secundário até 2026 e a condução de camiões até 2027. No

entanto, muitas outras tarefas como as ligadas ao comércio levarão mais tempo a que as máquinas nos substituam até 2031, ou a escrever um livro dos mais vendidos até 2049, inclusivamente a substituir um cirurgião até ao ano de 2053. Os especialistas acreditam que existe uma probabilidade média de cerca de 50% dos robôs superarem os humanos em todas as tarefas nos próximos 45 anos. Face ao grupo de especialistas ser heterogéneo as respostas refletiram inclusivamente a origem, já que por exemplo enquanto os norte americanos responderam em média que levaria cerca de 74 anos, por sua vez os asiáticos esperam que essas transformações se verifiquem nos próximos 30 anos.

Outras abordagens em termos de valores percentuais referem que a probabilidade de automação em balções de Serviços Financeiros se cifrar em 98%; a Receção e Informações em 96%; a Assistência Jurídica com 94%; o Retalho e vendas com 92%; Motoristas de táxi e particulares com 92%; Guardas e seguranças com 84%; Cozinheiros e funcionários de *fast-food* com 81%; Barmans com 77%; a Consultoria pessoal e financeira com 58%. Com menores probabilidades de substituição seguem-se os Repórteres e Correspondentes, os Músicos/Cantores e os Advogados.

Embora as respostas sejam heterogéneas, as medidas adotadas pelos governos e pelos empregadores visão essencialmente qualificar as pessoas com as habilidades certas para interagir com robôs no futuro local de trabalho, em vez de competir com eles. Em todo caso, as máquinas ao longo do tempo quando superam eficientemente determinadas habilidades humanas geram aparentemente profundas consequências sociais.

Richard Freeman [s.d.], argumentou que os robôs podem substituir os trabalhadores, mesmo os mais qualificados, assim como estes também podem contribuir para aumentar o nosso tempo de lazer e bem-estar. Recentemente uma investigação (Dauth *et al.* 2017), concluiu que o impacto no aumento dos robôs industriais no mercado de trabalho alemão nos últimos vinte anos, não provocaram quaisquer danos relevantes apresentando efeitos nulos ou residuais. Portanto, não observaram qualquer evidência de que aumentaram as taxas de desemprego totais, “... *os trabalhadores expostos aos robôs são mais propensos a manter os empregos nos locais habituais, embora não necessariamente a realizarem as mesmas tarefas...*”, alterando sim a sua composição em virtude das novas tarefas e habilidades que lhe são agregadas. Segundo os autores o receio das ondas de “desemprego tecnológico” é novamente um dos memes económicos dominantes do nosso tempo.

5.10.3. Simulação

Uma perspetiva de previsão possibilita a configuração de sistemas de produção mais eficientes e simultaneamente com menor utilização de recursos nas plantas das fábricas digitalizadas, onde as máquinas, os objetos e operadores simulados e em tempo real permitem atingir novos níveis de desempenho. O planeamento na produção simulado digitalmente do início ao fim dos processos, através de *softwares* evita ou minimiza os tempos de inatividade e os custos ao máximo, através da elaboração de diferentes opções de produção e dos respetivos procedimentos. A utilização destas plataformas visam concentrar e otimizar soluções

anteriormente dispersas de diferentes processos por departamento ou grupos de trabalho, proporcionando uma visão como um todo pela cadeia de valor. Algumas aplicações fornecem ferramentas de modelagem de processos baseadas na *web*, que dispensam programas pré-instalados no computador, como é o caso da Signavio Process Editor SaaS (Signavio, 2017a). Estas inovações incluem adesão aos padrões BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation) (BPMN, 2017) para execução de simulação de processos, comunicação, documentação através do portal em conformidade com os padrões de segurança, cálculo dos custos e requisitos de recursos. A formulação de novas propostas inclusivamente de *design* permite uma aproximação interativa com o cliente simulando o real na obtenção do desejado. A crescente complexidade no planeamento como do número dos seus componentes para fazer face às diversas alterações no tipo de procura por parte do mercado exigem um aumento da inovação para gerir essa crescente complexidade. Neste contexto o planeamento desde a conceção do projeto, assume um papel fundamental já que representa cerca de 80% dos custos associados (Favi *et al.* 2016). A fábrica é suportada por modelos de interoperabilidade e ferramentas que permitem visualizar e acompanhar através de diversas perspetivas o desenvolvimento do produto desde os primeiros esboços, modelação e simulação até ao cliente final. Exemplo da Siemens, que desenvolveu um sistema que permite simular a produção através dos dados enviados pela própria máquina (física), reduzindo o tempo de configuração em cerca de 80% (Siemens, [s.d.]), assim como o da regulação de picos e fluxos em cerca de 50% (Deutsche Welle, 2014). O ciclo de vida do produto é considerado e inclusivamente utilizado na identificação de potenciais efeitos indesejados no meio ambiente.

5.10.4. Sistema de integração Horizontal e Vertical

A integração das TIC nas empresas é fundamental, tanto no contexto interno como no externo à estrutura. Os diversos departamentos e a produção, integrados horizontalmente e verticalmente, permitem outros níveis de desempenho. Facilitando e promovendo inclusivamente novas cadeias de valor com o exterior quer a nível de clientes como de unidades similares ou de fornecedores. É o caso da Plataforma, da Rede da Arquitetura que serve de referência como Modelo para a Indústria 4.0 (RAMI), e da *Internet Industrial Reference Architecture* (IIRA). Complementadas por outra homóloga em 2014 designada por Industrial Internet Consortium (IIC), que resulta exclusivamente da iniciativa privada, composta por diversas empresas, como a Microsoft e a IBM. Ambos os modelos assentam em redes e na respetiva interoperabilidade unindo esforços com padrões uniformes para impulsionar a integração vertical e horizontal nos sistemas.

5.10.5. A “Internet das Coisas” (*The Internet of Things*)

O conceito de “Internet das coisas” (IoT) foi alicerçado no início do século por Kevin Ashton num laboratório no MIT. Resultado de uma investigação para aperfeiçoar as transações comerciais que consistia em conectar a informação RFID (Radio-Frequency Identification) à

internet (Ashton, 2009). Um conceito bastante simples e eficaz que se propagou através de artigos, de conferências, onde inclusivamente lhes cedeu o nome.

As empresas beneficiam por um lado, da diminuição constante dos custos das tecnologias, assim como um aumento progressivo das suas capacidades. A ABI Research (ABI Researcher, 2012) estimava que em 2013 existiam cinco mil milhões de *chips* sem fio. De acordo com diversas estimativas mais recentes, apontam para que só o número de dispositivos que comunicam entre si atualmente, já mais que duplica o número de pessoas existentes no planeta. A Cisco através do seu Grupo de “*Internet das Coisas* (IoT)”, preveem que esse número possa atingir os 50 mil milhões, em 2020 (Evans, 2011).

Os primeiros desenvolvimentos e testes registados nesta área advêm da conexão de equipamentos no setor industrial. Atualmente esta visão (IoT) expandiu-se para conectar tudo, desde equipamentos industriais aos mais pequenos e portáteis objetos pessoais.

O termo a “*Internet Industrial das Coisas*” (The Industrial Internet of Things), refere-se a sistemas de TIC conectados a todos os subsistemas, processos, objetos internos e externos, redes de fornecedores e clientes. Este é um sistema em que os elementos do mundo físico com sensores incorporados, são conectados à *internet* em redes locais como RFID, *Wi-Fi*, *Bluetooth* ou de longa distância com GSM, GPRS, 4G, entre outros. Viabilizam a crescente comunicação e cooperação integrada entre o mundo físico e o digital, as máquinas e os seres humanos. Onde dispositivos, sensores e objetos “inteligentes” com tecnologias padronizadas comunicam entre si e em tempo real. Onde sistemas de controlo de produção, permitem que os produtos sejam identificados por códigos de radiofrequência, informando sobre as etapas de produção a realizar por produto individualizado, face às especificidades pretendidas pelo consumidor.

5.10.6. Cibersegurança

A partilha e a interação de informação permitem diversas interferências das quais nem todas são desejadas. A necessidade de proteger produtos industriais, informações confidenciais e inclusivamente as recentes linhas de produção informatizadas são imprescindíveis.

Em França, 63% dos gestores de projetos consideram a segurança cibernética como crucial para a sua competitividade (Roland Berger, 2016).

Com o intuito de minimizar tais riscos foram implementadas medidas tais como por exemplo na UE, o regulamento geral de proteção de dados “General Data Protection Regulation (GDPR)” (EUGDPR.org [s.d.]) essencialmente de cariz na proteção de dados pessoais, enquanto outras iniciativas visam a salvaguarda do próprio estado. A utilização de tecnologias cada vez mais interligadas através de redes por toda a cadeia de valor desperta novas solicitações decorrentes das vulnerabilidades detetadas. Exigindo ações que se traduzem inclusivamente em políticas restritivas com interferência na liberdade de expressão ou circulação das populações.

A China, à semelhança do verificado na Rússia, “aperta com os impostos” requisitados às empresas estrangeiras para armazenar informações dentro das fronteiras nacionais. Estas

tendências podem representar um desafio para as empresas face as restrições de acesso à cadeia de valor representando uma ameaça à livre concorrência global.

5.10.7. A nuvem (The cloud)

Baseadas no armazenamento ou partilha de informação rompendo com os limites da própria empresa, permite melhorar os níveis de desempenho encurtando e facultando uma aproximação em toda a cadeia de valor a nível global, através de computadores e servidores partilhados e interligados na *internet*. A primeira ferramenta na melhoria de processos em nuvem foi desenvolvida pela Signavio, tendo captado a atenção dos utilizadores para esta nova estratégia a partir do ano de 2011 (Signavio, 2017b).

A transformação digital expande-se na Indústria 4.0 onde robôs, máquinas (M2M) comunicam inclusivamente com os clientes processando através da computação em nuvem (*Cloud Computing*). Possibilita criar facilmente novas aplicações e serviços, para armazenar, para recuperar e consultar dados e informações, alojar *websites*, transmitir audio e vídeo inclusivamente como ferramenta que permite analisar dados para descobrir padrões e fazer prognósticos. A introdução de circuitos impressos cuja memória e comunicação sem fios facultam a utilização de Inteligência Artificial em aplicações bastante diversificadas incluindo produtos descartáveis que exigem um aumento exponencial das capacidades de armazenamento de informação. Estes tendencialmente conectados digitalmente, munidos de uma identidade na *internet* proporcionam um campo fértil de inovação como o preconizado pela parceria entre a Thinfilm (Thinfilm, 2017) e a Evrythng (Evrythng, 2017). Integrando uma base de dados em nuvem de produtos eletrónicos impressos abrangendo campos de comunicação próximos como o do código de barras (Near Field Communication - NFC) (Near Field Communication, 2017) e produtos da família das Etiquetas Inteligentes (Smart Label, 2017). Soluções baseadas em nuvem tendo como único requisito a *internet* oferecem vantagens de custos e de manutenção comparativamente às oferecidas localmente. A implementação do conceito de “Fábrica Inteligente” em nuvem revela-se muitas vezes mais acessível do que o esperado inicialmente. Segundo a PwC mais de 40% das empresas realizam investimentos em soluções nestes contextos, numa proporção em menos de um euro por milhão (PwC, 2017a). Esta plataforma única que reúne todos os aplicativos, fábricas e clientes permitem acelerar a capacidade de resposta a irregularidades e interferências externas diminuindo simultaneamente as probabilidades de erros.

5.10.8. Manufatura aditiva

A impressão 3D inicialmente era utilizada essencialmente no *design* para prototipagem de componentes individuais. Atualmente estas novas tecnologias ainda só permitem produzir pequenos lotes de produtos em consequência das vantagens competitivas que daí advêm. Estes novos processos de produção (*Just in time*) complementam e diversificam os existentes permitindo reduzir em simultâneo o material utilizado, as distâncias de transporte (face a uma possível aproximação física com o cliente) assim como a redução do espaço nos armazéns e nos produtos que os ocupam. (Este tema/assunto pela relevância que tem no âmbito da

investigação será desenvolvido separadamente na *seção 5.13 Método de Produção Aditiva Tecnologia disruptiva 3D*), pág. 326).

5.10.9. Realidade aumentada

Esta nova realidade permite fornecer um conjunto de informações em tempo real estabelecendo novas pontes entre o mundo físico e o digital. Esta integração visa proporcionar aos utilizadores uma melhoria nas decisões e procedimentos, através de indicações e instruções autónomas. As soluções inovadoras de Realidade Aumentada (RA) consistem numa visão que assenta numa utilização de tecnologias para identificar e reconhecer imagens de objetos do mundo físico, através de câmaras às quais são sobrepostas informações e dados virtuais em tempo real. Transforma dispositivos inteligentes numa ferramenta para adicionar desde conteúdos de vídeo, de audio e de dados bi e tridimensionais integrados numa base de informações e de localização. Destas ferramentas diversificadas, surge como exemplo as propostas pela Metaio (Miller and Constine, 2015), uma empresa recentemente adquirida no ano de 2015 pela Apple (PwC (2017b)), que fornece aplicações industriais que aperfeiçoam e aceleram o processo de verificação de dados CAD (Computer Aided Design). Neste contexto a importância crescente na análise das características dos desvios verificados na localização através de uma medição dos equipamentos, auxilia a determinação da diferença entre a realidade e o equipamento virtual transferindo informações atualizadas para o *software* CAD. A gradual complexidade na produção e no *design* exige simultaneamente uma crescente simplificação na comparação e exequibilidade entre os modelos virtuais e os reais, no intuito de reduzir o tempo e os custos associados.

5.10.10. “Inteligência Artificial” (IA)

A Indústria 4.0 abre uma janela para uma era da “indústria inteligente” onde as pessoas, os dispositivos, os objetos e sistemas interagem para formar redes de produção dinâmicas e auto-organizadas. A inteligência descentralizada ajuda a desenvolver processos independentes, com a interação dos mundos real e o mundo virtual representando um novo aspeto crucial do processo de produção.

A “Inteligência Artificial”, terá seguramente um grande impacto nas nossas vidas e na economia global. Segundo relatório dos especialistas PwC AI (PwC, 2017b), *Sizing the prize*, o PIB global terá um aumento de 14% até ao ano de 2030. Este fenómeno que já faz parte do nosso ecossistema, incorporando-se em robôs, em veículos tendencialmente autónomos, em *drones* e até em assistentes virtuais e *software* que traduzem ou inclusivamente nos monitorizam. Nos últimos anos, registaram-se progressos assinaláveis na IA. A estes factos não é alheio o crescimento exponencial no poder de computação e pela disponibilidade de grandes quantidades de dados, utilizados para descobrir novos medicamentos aos algoritmos usados para prever os nossos interesses culturais. As tecnologias de produção digital, estão a interagir inclusivamente com o mundo biológico. Engenheiros, *designers* e arquitetos estão a combinar o *design* computacional, a produção através do processo aditivo, a engenharia de materiais e a

biologia sintética para criar uma simbiose entre microrganismos, nos nossos organismos, nos produtos que consumimos e até mesmo nos espaços que ocupamos.

Este novo contexto evolutivo favorece a integração da “Inteligência Artificial” em inovações como o robô que progressivamente caminhou das jaulas em grandes fábricas para a proximidade humana tornando-se “mais amigo”. É o caso da Sophia, desenvolvida pela empresa Hanson Robotics (Hanson Robotics, 2017) o primeiro robô no mundo a ganhar cidadania. Apresentada como tal nas conferências da Iniciativa de Investimento Futuro (FII - Future Investment Initiative) em Riyadh, 2017 (Center for International Communication, 2017). Sendo questionada no decorrer do evento por Elon Musk (diretor da SpaceX e Tesla), sobre os robôs malvados retratados em filmes à qual respondeu, *“A minha IA é projetada em torno de valores humanos, como sabedoria, gentileza e compaixão. Eu esforço-me para ser um robô empático. Eu quero usar a minha inteligência artificial para ajudar os seres humanos a viver uma vida melhor. Eu farei o meu melhor para tornar o mundo um lugar melhor”*.

A combinação de sensores avançados, reconhecimento de voz, Inteligência Artificial, *Big data*, *Text-mining* e Algoritmos de reconhecimento de padrões, está a proporcionar robôs “inteligentes”, capazes de aprender rapidamente as ações humanas e até mesmo de aprenderem uns com os outros (Reich, 2015).

5.11. Riscos e Benefícios

Em 1960, a IBM foi confrontada pelos seus próprios clientes que demonstraram preocupação sobre o impacto do desenvolvimento dos novos equipamentos propostos que gradualmente eram mais inteligentes sobre o emprego dos próprios gerentes que os adquiriam. Em resposta, a IBM expressou o que comumente ainda se encara como uma verdade absoluta sobre estas tecnologias, *“só podem fazer o que estão programados para fazer”*. Quem não ouviu chavões como auto programável, autónomo, descentralizado, inteligente (...)? Atualmente os computadores e outros dispositivos estão programados para resolver por si só, através da tentativa - erro, na procura de oferecer soluções de acordo com as suas necessidades. Martin Ford em *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future* (Ford, 2015), apresenta esta visão como um processo de seleção natural Darwiniana.

A ideia tão incrível de robôs em linhas de montagem que já faz parte do passado transpondo as preocupações e dúvidas iniciais dos clientes da IBM.

Este conjunto de novas tecnologias especialmente eficazes na conexão dos fluxos físicos e digitais às quais poderiam ser acrescentadas outras abordagens como as preconizadas pela Accenture Strategy, através da publicação de um relatório da autoria de Lacy and Rutqvist (2015). Curiosamente, os autores referem que são dez as tecnologias disruptivas neste contexto ciber físico à semelhança das enumeradas anteriormente. Embora existam algumas coincidentes (3D, *Big Data*, *Cloud...*), aparentemente este trabalho dá maior ênfase numa economia circular, em que essas tecnologias ou conjunto de tecnologias são especialmente eficazes na interligação com os clientes. Destacam-se as que se revestem num ambiente de mobilidade favorecendo a troca instantânea de dados através de aplicativos *online*, reduzindo

simultaneamente a necessidade de consumo de recursos naturais com especial ênfase no ciclo de vida dos produtos. Ou inclusivamente a comunicação entre máquinas (M2M), que embora não sendo algo de novo, os autores referem a particularidade da crescente utilização de uma rede principal sem fios onde a cobertura se estende gradualmente por todo o mundo. A nível social estas novas tecnologias que inicialmente eram baseadas na conectividade e na comunicação com amigos e familiares, rapidamente evoluíram para outros patamares.

A partilha por exemplo, cresceu exponencialmente assim como os seus utilizadores que se concentram em novas plataformas. Estes desenvolvimentos tecnológicos têm proporcionando às empresas novos canais de promoção e divulgação relativamente acessíveis e a nível global, fomentando uma proximidade com os consumidores, proporcionando melhores soluções mais personalizadas.

A tecnologia continua a desempenhar um rol de oportunidades na promoção da prosperidade e de bem-estar para a sociedade. Contudo o ritmo das inovações em áreas como a Inteligência Artificial (AI), as nano e as biotecnologias acarretam simultaneamente novos riscos. Estas preocupações assentam frequentemente quer por um conjunto de ideias ligadas a problemas ambientais, de consciência moral e ética, quer por tensões geopolíticas, nacionalismos ou instabilidade social.

As constantes ondas de ciber ataques que se verificam, amplificam as preocupações existentes e com elas os cuidados na proteção de dados (pessoais, Industriais...), de infraestruturas básicas (de abastecimento de eletricidade, água...), na saúde (Bolitho *et al.*, 2011) e aparentemente com influência nas últimas eleições presidenciais dos EUA.

As inovações tecnológicas estão a transformar a forma como as empresas intervêm e competem. Quais as consequências e os benefícios inerentes?

O WEF - World Economic Forum, publicou um gráfico com base num estudo sobre as tecnologias emergentes confrontando os benefícios e as respetivas consequências negativas na opção individualizadas de cada uma delas (Drzik, 2017).

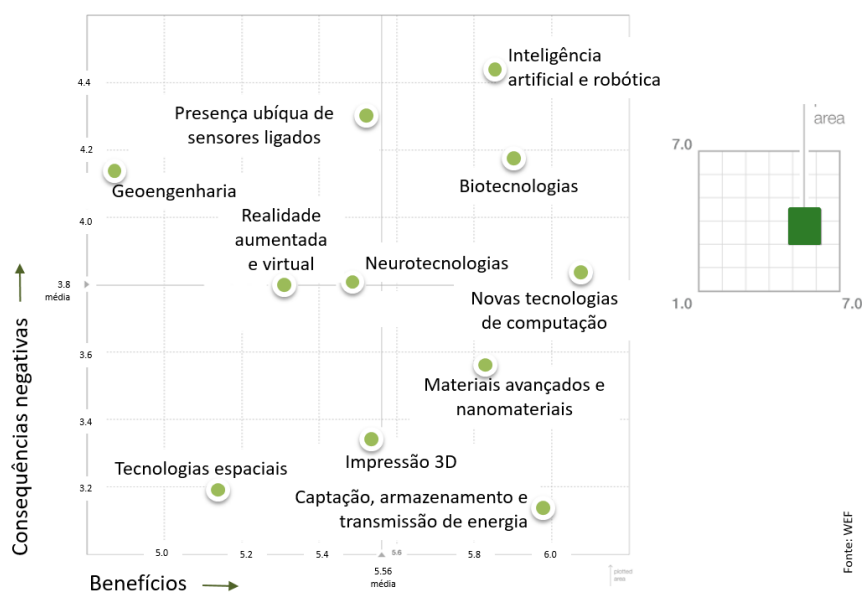


Figura 9. Impacto das tecnologias emergentes.

Verifica-se que o conjunto de novas tecnologias que formam a estrutura base deste novo contexto, não deixam de evidenciar uma posição benéfica no contexto global das atualmente existentes, classificadas numa escala de 1 a 7 conforme assinalado através da área do quadrado (à direita, *Figura 9*).

Segundo o critério utilizado na quantificação, as variáveis das tecnologias visadas, oscilam entre os 3 a 4,6 no eixo vertical que indica as consequências negativas, e de 4,9 a 6,1 no eixo horizontal que sinaliza os benefícios inerentes.

As tecnologias emergentes Impressão 3D, dos Materiais Avançados e Nanomateriais assim como a Captação, Armazenamento e Transmissão de Energia, ocupam um lugar de destaque neste estudo, representadas no quadrante inferior direito demonstrando simultaneamente elevados benefícios com consequências negativas, ainda que reduzidas.

O quadrante superior direito é preenchido pela Inteligência Artificial, pelas Biotecnologias e as Tecnologias de Computação. Embora continuem a demonstrar elevados benefícios, no entanto já são sujeitas (comparativamente ao quadrante anterior) a um maior grau de consequências negativas (entre 3,8 e 4,6).

Embora o quadrante superior esquerdo apresente os indicadores das tecnologias analisadas com maiores consequências negativas, englobando a Geoengenharia com 4,15 contudo os benefícios inerentes situam-se nos 4,9, ou seja ainda assim apresenta maiores benefícios do que riscos. A Presença Ubíqua de Sensores Ligados é a tecnologia que atinge maiores valores nas consequências negativas com 4,3, mas superada pelos maiores benefícios com cerca de 5,6. A Realidade Aumentada e as Neurotecnologias por sua vez, indicam valores similares de 3,8 nos riscos e 5,3 e 5,5 respetivamente nos benefícios.

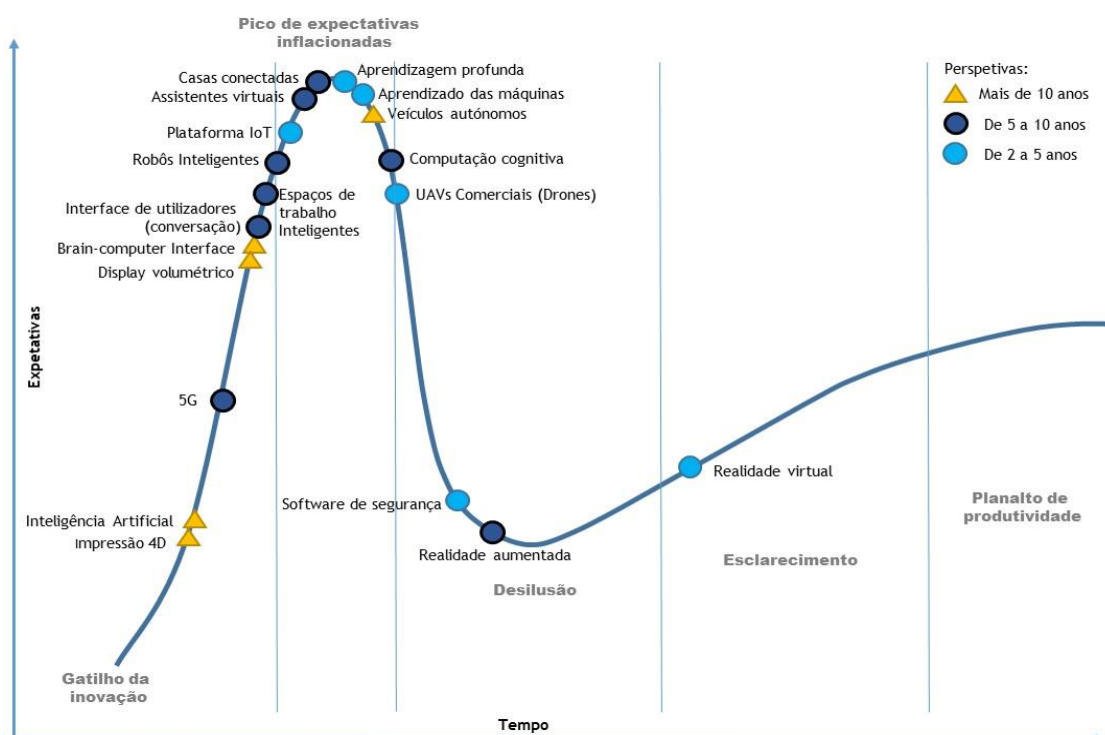
O último quadrante, o inferior esquerdo é composto pelas Tecnologias Espaciais que refletem consequências negativas de 3,2 e com os indicadores de benefícios do eixo horizontal mais ténues das tecnologias analisadas com 5,15.

Seja qual for a categoria do risco emergente o principal desafio reside na identificação e quantificação dos potenciais impactos. Os riscos completamente novos surgem de novas tecnologias e processos que incluem as nano, as biotecnologias e organismos geneticamente modificados, as tecnologias cibernéticas até aos veículos autónomos sem condutor, no entanto nem sempre perceptíveis. Em “Emerging Risks Report, 2014”. o objetivo é de contribuir para uma melhor compreensão dos riscos cujo potencial de perdas ou danos ainda está por determinar (Carpenter, 2014). Essa compreensão melhorada conduz a uma visão dos riscos associados como uma oportunidade e não somente como uma ameaça. É extensa a bibliografia sobre o tema. A Swiss R2 (Swiss Re, 2014), identificou vinte e seis potenciais riscos complementados posteriormente (Swiss Re, 2017), introduzindo os respetivos impactos subdivididos ao longo do tempo dos 0 aos 3 anos e com mais de 3 anos. O World Economic Forum (WEF, 2017d) por sua vez estabeleceu uma intrincada teia de relações através de um mapa num infundável conjunto de linhas representando as complexas interligações existentes entre elas (The Global Risks Report, 2017). Resultou numa observação de que os riscos podem ser

subdivididos tanto ao nível dos emergentes, já abordados, assim como nos sistémicos que são caracterizados em primeiro lugar por pontos de inflexão reduzidos, que quando combinados indiretamente, formam uma grande falha. Em segundo temos a partilha de riscos que se propagam desencadeando um contágio em cadeia e por último a histerese onde a recuperação se torna infrutífera não restabelecendo o equilíbrio inicial após o choque (WEF, 2014). Esta perspetiva assenta na premissa de que para corresponder eficazmente aos riscos globais e criar resiliência aos possíveis impactos é indispensável encetar maiores esforços para compreender, para medir e para prever a evolução das interdependências estabelecidas entre eles.

5.12. Ciclos das tecnologias emergentes

Os desafios tecnológicos acima descritos carecem de uma abordagem temporal sobre a implementação destes novos conceitos na fábrica tendo em consideração que frequentemente descrevem uma curva de maturidade que não corresponde às expectativas iniciais depositadas. Além do mais, a aplicação e a sua viabilidade exigem um determinado tempo de adaptação ao contexto produtivo assim como de avaliação do seu impacto futuro como um todo. Alguns exemplos são abordados e esquematizados inicialmente pela Gartner no ano de 2014, revistos posteriormente em 2017 (Panetta, 2017), onde mais de 2 000 tecnologias emergentes foram analisadas e agrupadas por 119 áreas. Fornecem uma avaliação da maturidade, benefício comercial e direção futura, como demonstrado na figura seguinte:



Fonte: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf>

Figura 10. Ciclos de Hype” valor agregado na produção industrial. Representação gráfica da maturidade e adoção de tecnologias e aplicativos potencialmente relevantes para resolver problemas de negócios reais e explorar novas oportunidades.

À medida que as empresas implementam novas práticas digitais é indispensável e fundamental identificar e utilizar as tecnologias certas no momento indicado. Para tal, é fornecida uma análise do trajeto temporal na implementação das tecnologias segundo quatro categorias distintas: menos de 2 anos, de 2 a 5 anos, de 5 a 10 anos e mais de 10 anos.

O Ciclo de *Hype* relativo às Tecnologias Emergentes fornece uma avaliação do impacto nas empresas (Gartner, 2014). Para Jackie Fenn, vice-presidente e membro no grupo CIO Research da Gartner, este deve de ser utilizado para identificar quais as tecnologias que estão a emergir e utilizar o conceito de transformação de negócios digitais para reconhecer quais as tendências que podem vingar. As tendências a assinalar são basicamente três (Gartner, 2017a), todas elas tendo em comum o contexto intangível como a Inteligência Artificial (ubíqua)⁶³, as Plataformas Digitais⁶⁴ e as Experiências de Imersão Transparente (*Transparently Immersive Experiences*)⁶⁵. As duas primeiras já anteriormente abordadas, eventualmente reforçando o aspeto da aprendizagem das máquinas num contexto de IA, onde as soluções mais convencionais revelam crescentes dificuldades em lidar com a quantidade de dados disponíveis assim como na obtenção de conhecimentos através do reconhecimento de padrões daí resultantes. A emersão de novas tecnologias desmaterializadas como a Nano Brain-Computer Interface (NBCI) à semelhança da junção da Realidade Aumentada (RA) e da Realidade Virtual (RV), proporcionam novos contextos e experiências de aprendizagens completamente novas.

As tecnologias convergentes como as Nano, as Biotecnologias, as TI e a Ciência Cognitiva estão a criar um conjunto de poderosas ferramentas que têm o potencial de melhorar desempenhos, bem como de transformar a sociedade, a ciência, a economia e a evolução humana (Devezas, 2005).

Nas demonstrações interativas proporcionadas pelo Facebook nas conferências intituladas de “F8” em 2017 (F8, 2017) exploram-se novos produtos e possibilidades através de sessões *online* sob o espectro de soluções e recursos inovadores para as melhores práticas e fórmulas com o intuito de tornar o mundo mais aberto e conectado. Alguns ensinamentos resultam desta nova abordagem em contacto direto com as redes sociais como resultado de novas plataformas com grande potencial inclusivamente para a indústria. Esta investigação num contexto de disrupção do ecossistema digital (Gartner, 2017b), abrange mais de 100 Ciclos focados na diversidade de empresas e regiões projetados para apoiar na identificação de oportunidades assim como de possíveis ameaças. Enfrentar esta ininterrupta e acelerada transformação afeta profundamente a forma como lidar e conectar inovações tecnológicas com novos ecossistemas no intuito das organizações se tornarem mais competitivas nos próximos cinco a dez anos.

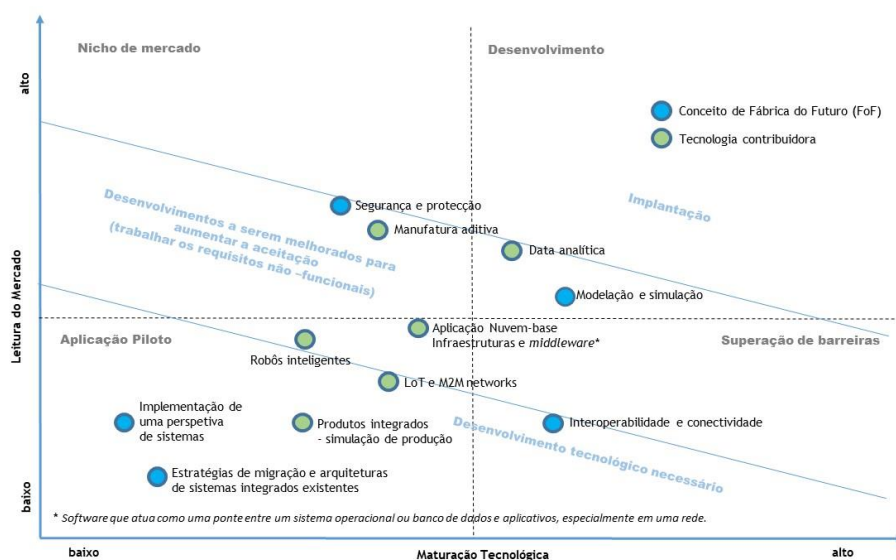
⁶³ Deep Learning; Deep Reinforcement Learning; Artificial General Intelligence; Autonomous Vehicles; Cognitive Computing and Commercial UAVs (Drones); Conversational User Interfaces; Enterprise Taxonomy; Ontology Management; Machine Learning; Smart Dust; Smart Robots, Smart workspace.

⁶⁴ 4D Printing; Aumented Reality; Brain-Computer; Interface; Connected Home; Human Augmentation; Nanotube Electronics, Virtual Reality; Volumetric Displays

⁶⁵ 5G;; Digital Twin; Edge Computing; Blockchain, IoT Platform; Neuromorphic Hardware, Quantum Computing; Serveless PaaS; Software-Defined Security.

Aparentemente algumas das tecnologias assinaladas anteriormente ainda não atingiram a sua maturidade e a sua aplicabilidade na indústria manufatureira decorre segundo critérios que não se restringem exclusivamente a aspetos de desenvolvimento técnico. Os desafios são numerosos inclusivamente dependentes das estratégias na migração de tecnologias ou decorrentes da implementação de sistemas.

Segundo a IEC (International Electrotechnical Commission) (IEC, 2015) o conceito e as soluções na Fábrica do Futuro estão intrinsecamente relacionados com o desempenho e maturidade das tecnologias, assim como da receptividade do próprio mercado. A adoção de tecnologias-chave oscila perante a sua aplicabilidade mediante o tipo de indústria em questão. Numa fase inicial são testadas e aperfeiçoadas em experiências piloto. Posteriormente são validadas e segmentadas por nichos de mercado em função do grau de receptividade demonstrado pelos consumidores como é o caso da simulação na produção, a IoT e M2M.



<http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf>

Figura 11. Disponibilidade do mercado e maturidade tecnológica/aplicabilidade de tecnologias-chave.

No caso da Robótica Inteligente e das Aplicações em Nuvem, constata-se uma aceitação crescente ou necessidade já expressa pelo mercado mas numa fase relativamente embrionária. Por sua vez, a Análise de dados à semelhança dos Métodos de produção aditiva demonstram um nível elevado de aceitação por parte dos utilizadores e simultaneamente descola dos nichos de mercado alicerçada num aumento gradual da maturidade tecnológica.

5.13. Método de Produção Aditiva (tecnologia disruptiva 3D)

A produção tradicional fundamentalmente baseada no método subtrativo, que consiste em retirar material aos formatos normalizados com que se apresentam, ao invés do método de produção aditivo AM - Additive Manufacturing ou vulgarmente conhecido por impressão 3D que se baseia na deposição segundo a quantidade pretendida, só tanto, quanto o necessário. Esta abordagem de baixo para cima (*Bottom-up*) é característica de diversas tecnologias como as nano ou as biotecnologias, designadas por inovações de base que evoluem e se transformarão

nos alicerces de uma nova tecnosfera. Este tema de especial relevância não vai provocar alterações no sistema produtivo mas em toda a cadeia de valor, como um todo.

A tecnologia AM teve como precursor Chuck Hull que em 1983, utilizou a estereolitografia para imprimir um objeto em três dimensões na 3D Systems (3D Systems, 2017). Estas soluções são focadas na conexão entre clientes com fluxos de trabalho em formatos digitais e a necessidade de resolver problemas ou de novas soluções para o *design* ou para a engenharia.

O termo AM, descreve as tecnologias na produção de objetos onde o material é adicionado por camadas sucessivas de materiais desde polímeros, metais, cerâmicas, vidro... a tecido humano. Esta invenção refere-se geralmente a métodos e dispositivos adaptados e utilizados em processos de produção aditiva (AM).

Embora a produção aditiva (AM) seja um termo padrão da indústria (ASTM F2792), abrange várias técnicas de produção e prototipagem conhecidas sob uma variedade de nomes (ASTM International, 2013). As técnicas AM são capazes de produzir complexos componentes numa variedade de materiais despertando um interesse crescente da indústria em diversos setores de atividade desde o automóvel, a aeronáutica, a medicina e a defesa assim como para o público em geral. A consultora Grand View Research.com, avaliou este mercado em 2012 em cerca de 2,2 mil milhões de dólares US \$, representando um crescimento de 28% entre os anos de 2010 e 2012. Prevendo-se que atinja em 2017 os 4,4 mil milhões de euros e os 8,6 mil milhões no ano de 2020 (Roland Berger, 2016). A esse facto não é alheio o custo desta nova tecnologia cair por um fator de 10X num período de cinco anos (Karlgaard, 2011) o que curiosamente nos conduz novamente para a Lei de Moore que aparentemente descreve uma curva similar à verificada pela impressão 2D na década de 1980.

Estas tecnologias sustentadas por computadores e *softwares* de modelagem 3D (CAD- Computer Aided Design), incluem subconjuntos como a Prototipagem Rápida (RP - Rapid Prototyping) para modelos e visualização do *design* na pré-produção, Produção Direta Digital (DDM- Direct Digital Manufacturing) ou inclusivamente na produção de produtos finais para diversos setores e mais recentemente na saúde, para implantes e órgãos.

No setor automóvel, o primeiro veículo a ser produzido pelo método aditivo no ano de 2014 foi o Strati, palavra italiana para designar “camadas” (AE News, 2004), já referido na *seção 4.9.1, Inovações físicas/digitais, pág.267*. Um veículo elétrico produzido pela Phoenix Arizona que uniu esforços com a Cincinnati Inc. (a anterior Cincinnati Shaper Company), para desenvolver o projeto onde os membros são encorajados a compartilhar as suas ideias de *design* de veículos e posteriormente aperfeiçoados pela comunidade. O processo de impressão foi demonstrado no *International Manufacturing Technology Show* em Chicago, e no Detroit Auto Show de 2015. A impressão dos 800 quilos de componentes termoplásticos levam atualmente cerca de 24 horas para ser concluída, mas os planos são para diminuir o tempo de impressão para menos de 10 horas. Strati é impresso a partir de termoplástico totalmente reciclável, que pode ser desmontado e reprocessado para ser novamente utilizado na impressão de outro veículo.

É curioso verificar que este fenómeno também se expandiu para outros setores, como o exemplo do novo Nokia 8, (Nokia, 2017) idealizado num contexto colaborativo quanto ao acréscimo de funcionalidades e melhorias substanciais, (André, 2017).

A Sociedade Americana de Ensaio e Materiais - ASTM (ASTM International, 2013), formulou um conjunto de normas, definições e terminologias que classificam as diversas gamas de processos de produção aditiva (AM). Definindo-a como “Um processo de junção de materiais para produzir objetos a partir dos dados de um modelo 3D, geralmente camada após camada, em oposição às metodologias de “fabricação subtrativas””.

Diferenciando sete categorias aplicadas a diversos materiais como os metais, os polímeros e as cerâmicas (Loughborough University, 2017). Os processos individuais diferem dependendo do material e da tecnologia utilizada, sendo designados por:

– Fusão em pó, (*Powder Bed Fusion* - PBF)

O processo inclui as técnicas de impressão vulgarmente utilizadas: sinterização a laser por metal direto (DMLS), fusão por feixe de eletrões (EBM) e a sinterização por calor seletivo (SHS), nas quais a energia térmica funde seletivamente determinadas zonas.

– Deposição de energia direcionada (*Directed Energy Deposition* - DED)

É um processo de impressão mais complexo utilizado para corrigir ou adicionar material aos componentes existentes. Consiste numa fonte de energia térmica direcionada através de uma variedade de terminologias, (Laser projetado numa rede de modelagem, feixe de eletrões ou arco de plasma), que é focada para derreter os materiais a serem depositados – utilizado em metais.

– Laminação de Folhas (*Sheet Lamination*).

O processo de laminação de folhas utiliza folhas ou fitas metálicas, unidas através de soldadura ultrassónica (UAM), ou produção de objetos laminados (LOM), para formar os produtos.

– Fotopolimerização, (*Photopolymerisation* - VAT).

Formado por um grupo de diferentes tecnologias de produção aditiva em que o fotopolímero líquido é seletivamente curado por polimerização numa cuba sendo ativada por luz ultravioleta (UV), partir do qual o modelo é construído camada por camada – utilizado em polímeros e cerâmicas.

– Jato de material (*Material Jetting*).

O jato de materiais é realizado através de gotículas depositadas seletivamente. Produzindo objetos com um método semelhante a uma impressora bidimensional a jato de tinta – utilizado em polímeros.

– Processo de produção através de aglutinantes (*Binder Jetting*).

O processo utiliza dois materiais, sendo o primeiro à base de pó e o outro um aglutinante. Uma cabeça de impressão desloca-se horizontalmente ao longo nos eixos x e y da

máquina e deposita camadas alternadas do material de construção e do material de ligação – utilizado em polímeros.

– Extrusão de material, *Material Extrusion*

Um processo de extrusão de material comum que é distribuído através de um bocal ou orifício aquecido e depositado, camada por camada. O bocal movimenta-se na horizontal e a plataforma movimenta-se na vertical – utilizado em polímeros e cerâmicas.

Embora esta nova tecnologia seja constituída por diversos processos e técnicas inovadoras ainda apresenta algumas desvantagens comparativamente à produção convencional, como o alto custo da produção em massa por unidade de produto, assim como o formato máximo dos componentes a produzir. Mas, uma tecnologia que servia inicialmente e exclusivamente para protótipos tem conquistado gradualmente uma crescente importância, para já, em pequenos e médios volumes de produção assim como para soluções personalizadas...

5.13.1. Comparativo

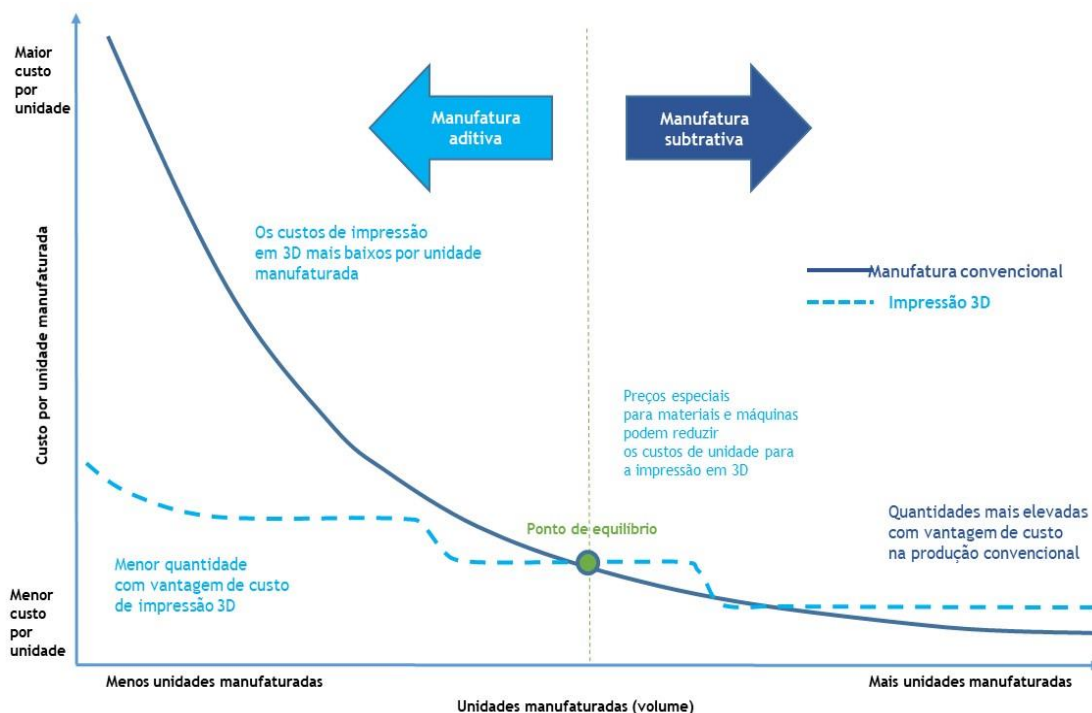
Distintas opiniões e perspetivas manifestam-se em diversas publicações, em jornais, nos *blogs* de imprensa especializada, nas universidades, entre outras. Os otimistas esgrimem os seus argumentos sobre as potencialidades e oportunidades decorrentes desta nova tecnologia. Por outro lado os céticos apontam para as limitações e o reduzido impacto que irá provocar na cadeia de valor como um todo.

As Revoluções Industriais são caracterizadas por uma mudança profunda no tecido produtivo, tendo exigido avultados investimentos no desenvolvimento e na implementação de novas tecnologias. Obrigando inicialmente a um elevado nível de capital tanto em desenvolvimento como na sua implementação e como é óbvio a tecnologia de impressão em 3D, não foi uma exceção. No entanto, a tecnologia de métodos aditivos pode interromper os compromissos de desempenho existentes, reduzindo substancialmente o investimento global necessário para alcançar economias de escala.

A produção por adição é um termo abrangente para um conjunto de tecnologias e processos com quase 30 anos de desenvolvimento. Essas tecnologias atingiram um nível de maturidade que cada vez mais permite a existência de aplicações comerciais de valor agregado. Alguns veem a impressão 3D como impulsionadora de inovação que vai transformar a indústria produtiva nas próximas décadas. Esta nova realidade já amadurecida, mas cuja relevância estratégica aumentou acentuadamente nos últimos anos é desenvolvida em ambientes ciber físicos e tem as características que permitem romper os compromissos de desempenho existentes expandindo o domínio do possível. A produção aditiva evidencia capacidades de impulsionar a complexidade no *design* dos objetos simplificando simultaneamente os processos de produção num menor espaço de tempo, com equipamentos mais acessíveis, reduzindo o material e os resíduos. A crescente tendência na utilização desta tecnologia de produção aditiva ameaça romper as restrições desses custos/benefícios criando uma vasta gama de oportunidades originando um aumento significativo no desempenho geral e na inovação.

Segundo o já referido relatório da Deloitte (2015), manifestando-se fundamentalmente porque a produção aditiva tem reduzido substancialmente o investimento para alcançar mercados de escala estabelecendo uma nova relação entre o capital *versus* quantidade.

Na produção convencional, o custo de cada unidade é inicialmente muito elevado, mas vai diminuindo proporcionalmente à medida que se aumentam as unidades produzidas. No processo aditivo, em contraste com a produção convencional, apresenta um custo inicial por unidade bastante mais reduzido, mas revela uma recuperação mais lenta em função do crescimento da produção.



<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>

Figura 12. Análise de rutura da produção convencional e a impressão 3D

A figura 12 proporciona uma análise comparativa entre os métodos de produção convencional (subtrativa) e a aditiva face a quantidade de objetos produzidos *versus* custo. Ilustradas através de curvas que representam o custo da mudança no preço médio para cada unidade de produção. O equilíbrio entre duas abordagens alternativas de produção ocorre onde as curvas se intercetam para uma escala mínima de eficiência na produção.

Atualmente, a produção convencional oferece vantagens de custo essencialmente quando os volumes de produção são mais elevados, embora isso seja suscetível de mudar. A impressão em 3D, pelo contrário, torna-se opção mesmo para um menor volume de produtos (até uma unidade). Planos na redução de preços para materiais e impressoras podem diminuir o custo unitário a longo prazo. A abordagem da produção aditiva leva a uma redução substancial da mão-de-obra necessária assim como dos desperdícios resultantes, além da diminuição do peso dos objetos produzidos, um atributo crítico para um conjunto de diversas utilizações móveis.

No contexto das empresas torna-se imprescindível atingir uma economia de escala, originando uma reorganização dos processos produtivos para aumentar a produção reduzindo simultaneamente o custo médio do produto. Um bom exemplo da economia de escala é a indústria do *software*, onde o maior custo reside essencialmente no desenvolvimento do programa. Portanto o custo inicial é diluído, tanto quanto o número de cópias desse mesmo programa forem reproduzidas, resultando num custo médio menor por unidade de produto comercializado.

O conceito quando aplicado à relação com a estrutura de mercado em determinadas tipos de indústrias é fundamental para que, por exemplo, se o seu segmento de mercado for pequeno em relação ao tamanho total do mercado alvo (procura), será propenso a existência de um maior número de empresas ou seja maior concorrência. Por outro lado, quando atinge uma escala elevada (maior quota de mercado), derivado ao elevado investimento inicial exigido, o número de instalações de produção será menor, traduzindo-se por sua vez numa menor concorrência (empresas dominantes).

No entanto, também é observado que é possível satisfazer as necessidades individuais do consumidor reduzindo os investimentos avultados anteriormente exigidos. Permitindo que a escala de eficiência possa ser atingida com baixos volumes de produção, inclusivamente para uma única unidade. Esse custo de desempenho diverge dos tradicionais métodos de produção que enfrentam maiores custos iniciais.

A produção aditiva (AM), munida de uma crescente fonte de opções tanto a nível dos materiais disponíveis como na variedade de soluções no *design*, permitem fornecer para já uma alternativa eficiente e sustentável para produções de baixo a médio volume. Além do mais, as reduções esperadas no custo dos novos materiais e dos equipamentos, além de mais diversificados para esta nova realidade permitem ampliar esses efeitos, inclusivamente no volume crescente de produção em que estas novas tecnologias podem competir comparativamente aos métodos mais tradicionais (Senvol, 2017).

Outra abordagem reside na relação estabelecida entre a produção e a economia de escopo onde a flexibilidade contribui paralelamente para uma redução do investimento necessário para atingir o mercado, caracterizado por uma procura crescente na variedade e gama de produtos. Esta tendência refere-se à flexibilidade inerente por unidade de capital, oferecendo vantagens através da produção de diversos produtos para o consumidor final utilizando os mesmos equipamentos, materiais e processos (Chandler *et al.*, 1990).

A capacidade e a dimensão das economias influenciam decisivamente, como e quais os objetos/serviços que podem ser produzidos. A importância das tecnologias AM na economia de escopo pode exceder o seu impacto resultante da produção em escala. Dentro da restrição dos materiais disponíveis, a AM é conhecida por ser extremamente versátil na sua capacidade de produzir diferentes configurações de produtos com menores custos e num menor espaço de tempo de transição (de um produto para outro) (Baumers *et al.*, 2012).

5.13.2. Impacto da produção aditiva em economias de escala e escopo

A produção aditiva é representada por inovadoras tecnologias que rompem com o tradicional, reduzindo significativamente a escala mínima de eficiência, expandindo simultaneamente as economias de escopo disponíveis.

A flexibilidade das tecnologias aditivas permite que o tipo de objetos produzidos sejam diversificados e completamente novos sem necessidade de recorrer a uma mudança de equipamento. As implicações são visíveis por exemplo nos avultados investimentos em moldes para fundição exigido por cada componente ao inverso da impressão 3D bastante mais flexível e acessível.

Anteriormente verificava-se uma especialização (imposição) da produção em objetos específicos com determinadas características. Atualmente essa tendência esbate-se dando lugar a uma variedade nos produtos e uma especialização no “saber fazer” como um todo, onde a imposição decorre da própria procura. Esta nova versatilidade possibilita produzir componentes complexos não exequíveis de outra forma para automóveis na parte da manhã e para a aeronáutica na parte da tarde, bastando para tal introduzir os dados e acionar o processo.

Unidades produtivas dispersas geograficamente com menores investimentos facilitam a entrada de novos atores com novos conhecimentos impulsionando o sector. Estas novas capacidades podem ter profundas implicações na capacidade de resposta (velocidade) com que as solicitações do próprio mercado possam ser satisfeitas. Essas conclusões têm implicações práticas diretas no enquadramento e das opções de investimento nas empresas para a implementação da produção aditiva, que se podem subdividir em pelo menos quatro cenários:

- Como primeiro cenário temos as empresas que não procuram grandes alterações tanto em termos de segmentação do mercado quer de produtos, encarando esta nova tecnologia como complemento para melhorar o processo de produção existente na cadeia de valor (Wohlers, 2012).

- No segundo cenário as empresas focam-se na economia de escala proporcionada pela impressão 3D para transformar os processos de produção diversificando o segmento de mercado mantendo contudo o tipo de produtos (Kondor, *et al.* 2013).

- No terceiro cenário as empresas na economia de escopo beneficiam da produção aditiva para atingir novos níveis de desempenho e de inovação nos produtos disponibilizados (3D Systems, 2013).

- No quarto cenário as empresas alteram ou inclusivamente iniciam-se com novos métodos de produção e com produtos inovadores na procura de novos modelos de negócio (3D Systems, 2018).

Enquanto se assiste à evolução destas novas tecnologias, verifica-se uma redução dos seus custos e em paralelo a uma maior flexibilização permitindo criar oportunidades para novos produtos e inovações.

5.13.3. Combinação do Método Aditivo e Subtrativo

A fusão das tecnologias de produção aditiva com os métodos tradicionais subtrativos incluindo o Controlo Numérico Computadorizado (CNC), agora designada por produção CNC Híbrida, oferecem segundo diversos autores, inúmeras vantagens desde os menores custos na aquisição de equipamentos, assim como exigindo menor tempo de aprendizagem.

Recentemente a TechSolve, uma empresa com experiência no aperfeiçoamento de processos e máquinas CNC, desenvolveu o sistema Hybrid da LENS que utiliza uma interface personalizada que permite que as operações de impressão em 3D sejam executadas usando a programação CNC e 3D através de comandos em códigos G já familiares a programadores (Vartanian e McDonald, 2016). Demonstra as potencialidades do sistema funcionando quer no método subtrativo, ou no aditivo separadamente para produzir um objeto 3D, ou inclusivamente em modo híbrido alternando entre operações subtrativas e aditivas.

As tecnologias híbridas que combinam os dois processos mantêm o potencial para ampliar a remanufatura e o reparar de componentes de alto valor. Seguindo os resultados promissores do projeto Innovate UK RECLAIM, a empresa Spin-Out (HMT - Hybrid Manufacturing Technologies) (HTM, 2017) desenvolveu o sistema multitarefas AMBIT™ que combina revestimento de lâminas laser. Este novo sistema híbrido totalmente automatizado permite que o processo seja aplicado de forma mais ampla reduzindo os custos para consertar/reparar componentes ou peças com elevado valor de mercado.

O já citado artigo de Vartanian e McDonald (2016) analisou os benefícios atuais da combinação do processo Aditivo com o subtrativo, fornecendo vantagens em comparação com a utilização de qualquer tecnologia isoladamente.

Esta nova abordagem tem permitido o desenvolvimento de diversas soluções e mecanismos na configuração de máquina/ferramenta utilizando inclusivamente o metal demonstrando as possibilidades para a próxima geração de equipamentos de produção (Yamazaki, 2016).

Os constantes desenvolvimentos registados através da junção das tecnologias de produção, fomentam o aparecimento de outras atividades além do desenvolvimento de novos materiais, caminhando rapidamente no sentido de encurtar as etapas entre o projeto de *design* e o consumidor final.

5.13.4. Impacto da tecnologia disruptiva no *design*

O aparecimento dos computadores e respetivos programas informáticos no último quarto do século passado vieram simplificar substancialmente as práticas no *design*, onde emendar ou alterar substancialmente o projeto obrigava a reiniciar o processo manual de desenhos, a tinta da china no vegetal com perspetivas, alçados e cortes. Atualmente a impressão 3D em ambientes ciber físicos, diretamente do computador para a máquina, questiona os métodos de produção mais tradicionais.

A produção aditiva despertou inicialmente o interesse na pré-produção, como ferramenta para prototipagem rápida de modelos permitindo uma melhor visualização de aspetos funcionais ligados ao *design* e à engenharia. A simplicidade do processo permite que seja utilizado para produzir objetos com formas complexas e em diversos materiais proporcionando um crescente interesse por parte da indústria face às vantagens estratégicas decorrentes da sua inserção nos modelos de negócios.

Geralmente as comparações centram-se nos padrões existentes (ver os 3 primeiros cenários para implementação da produção aditiva), subjugando uma nova tecnologia e respetivos métodos de produção a um contexto já existente de massificação dos produtos.

Este fenómeno já foi registado anteriormente, quando em meados do século passado o mobiliário em madeira era geralmente produzido segundo princípios alicerçados num trabalho manual ou artesanal. Tendo influenciado profundamente o início da produção por métodos mecanizados que ainda estavam sujeitos a um conjunto de práticas e de técnicas artesanais revelando-se em grande medida numa baixa generalizada da qualidade dos produtos.

Atualmente, o *design* dos objetos ainda concebidos e projetados sob uma mentalidade limitada pelo passado que perdura, talvez até nalguns casos inconscientemente, mantém-se como uma força de bloqueio, fruto de uma aprendizagem e de uma base de conhecimentos muito consolidada no adquirido. São necessárias novas abordagens com novas perspetivas para fazer emergir o novo, pensando os projetos e a conceção no *design* dos produtos de uma forma completamente inovadora para subtrair todos os benefícios possíveis nesta nova cadeia de valor.

No entanto, não se pode escamotear a necessidade de uma transição face aos diversos graus de desenvolvimento existentes no setor produtivo assim como ajustados à respetiva procura existente no mercado.

As abordagens mais comuns ao tema são redesenhar ou adaptar ao existente (Salonitis e Al Zarban, 2015), como transição, ou um *design* completamente novo e aí a adaptação resulta das novas solicitações quer expressas ou manifestas por este novo contexto inseridas em novas tecnologias, novos produtos e novos mercados.

5.13.5. A transição...

A introdução destas tecnologias na indústria com novas metodologias exige um (re) *design* do produto na concepção (Hällgren *et al.* 2016) assim como no seu ciclo de vida (Salonitis *et al.* 2015). As análises demonstram que a adoção da impressão 3D pode proporcionar poupanças significativas na produção de bens. Segundo estimativas, a utilização de recursos decorrentes da redução de materiais e de cadeias de distribuição mais curtas (Gebler *et al.*, 2014), traduzem-se numa diminuição dos custos entre os 113 e os 370 mil milhões de US \$, até 2025.

A reestruturação do processo assim como as melhorias no *design* do produto através da incorporação de componentes produzidos em 3D podem tornar o processo mais eficiente em termos de consumo energético e de recursos (Chen *et al.*, 2015). Impulsionando um campo em

franca expansão que resulta da atualização para um *design* mais recente de componentes já existentes, fornecendo uma possível visão para o crescente mercado de peças sobresselentes. Com a particularidade de serem produzidas sob pedido, segundo determinadas especificações e mais próximo dos clientes, esta interação entre consumidores e produtores locais proporciona uma nova aprendizagem colaborativa com benefícios claros para a inovação (Jong e Bruijn, 2013).

Redesenhar produtos ou componentes neste novo contexto pode conduzir a questões de acessibilidade interna ou de configurações funcionais, podendo impedir abordagens de produção mais vantajosas (Gibson et al. 2010). Existe por parte de alguns *designers* e engenheiros a perceção errada que estes desenvolvimentos estão limitados à prototipagem rápida, não sendo adequada para a produção direta de produtos ou componentes. Alterar as mentalidades torna-se urgente para usufruir na plenitude de todos os benefícios resultantes deste novo contexto.

5.13.6. Completamente novo

O aparecimento de novas tecnologias de produção mais eficientes em termos de custos e recursos, combinado com a personalização dos produtos (Zhou and Jiao, 2013) [295] e os *Prosumers* (Fox e Li, 2012), fazem repensar como o ambiente produtivo se encontra em permanente mutação. Aparentemente anuncia um futuro em que as cadeias de valor mais localizadas, mais curtas entre produtores e consumidores (Kohtala, 2015), inclusive mais colaborativas, originam benefícios significativos e sustentáveis (Gebler et al., 2014). Os objetos são produzidos quando necessários, “*Just in time*” termo que se traduz numa redução na utilização de materiais, de componentes, da estrutura de logística, dos recursos financeiros e simultaneamente à medida e especificações do cliente. Esta nova abordagem permite uma redução substancial dos produtos existentes em stock e inclusivamente dos desperdícios na produção (Chen et al., 2015; Maidin, et al., 2012).

Além da redução do peso dos objetos produzidos, um atributo crítico para diversos tipos de solicitações com um novo *design* podem contribuir para uma diminuição no valor do consumo de energia entre os 56 e os 219 mil milhões de US \$, até ao ano de 2025 (Gebler et al. 2014).

Explorar as potencialidades da produção aditiva sob a perspetiva da sustentabilidade no sistema industrial fornece uma compreensão mais aprofundada das implicações dos sistemas complexos. Composta por diversos atores que interagem num cenário global em cadeias de valor, trocando dados, serviços, matérias-primas, conhecimentos, produtos e capitais (The Royal Academy of Engineering, 2012). Surgem novas comunidades emergentes de criadores com novos modelos de negócio, onde os *Prosumers*, corporizados por *Makers*, *Do-it-yourself* (DIY), ou *Peer-to-Peer*⁶⁶ (P2P), estão munidos de conhecimentos e capacidades tecnológicas em ambientes ciber físicos sob a premissa de que desenham o seu futuro em vez de esperarem por

⁶⁶ *Peer-to-Peer* = Pessoa para pessoa.

ter um lugar no futuro desenhado por outros. Estas comunidades são constituídas por profissionais qualificados que desenvolvem atividades diversificadas desde serviços de *design*, ao corte a laser, impressão 3D, CNC,.... Caracterizada por uma produção predominantemente personalizada ou customizada (Lipson e Kurman, 2010; Kohtala Hyysalo, 2015), evitando quando possível a propriedade individual em favor do acesso partilhado de produtos e serviços. Uma nova dimensão social em que o *designer* se engloba ou se confronta resultante desta democratização da produção e conceção dos produtos. A combinação das TIC, softwares de CAD com esta nova realidade altera os padrões de consumo e a produção. Onde o consumidor capacitado deixa de ser exclusivamente passivo, mas também interveniente direto, tornando-se “*Prosumer*” inserido numa comunidade de produção e consumo global (Chen *et al.* 2015).

Este novo contexto também pode facilitar as abordagens de produção que são impraticáveis ou impossíveis através dos métodos de produção mais tradicionais (Maidin, *et al.*, 2012). Novas regras nos projetos simplificados permitindo que o *design* se liberte para formas mais complexas e otimizadas, com montagens mais simplificadas resultado de uma diminuição do número de componentes (Nahmias, 1997) e na variedade dos materiais que constituem os produtos.

A produção aditiva evidencia capacidades de impulsionar a complexidade no *design* dos objetos, por outro lado, os processos de produção tradicionais geralmente impõem limitações no *design*, traduzindo-se num acréscimo na complexidade exigida no processo de montagem através da soldadura ou montagem em extensas cadeias de uma infinidade de peças ou componentes mais pequenos (Vaneker, 2017). Inclusivamente em casos mais específicos, como verificado por LaMonica (2016), sobre o caso da GE Aircraft⁶⁷ que já utiliza este novo método para produzir os bicos de combustível para os seus motores Leap. Nestas circunstâncias foi possível produzir numa única peça o que anteriormente exigia a soldadura de 20 pequenos componentes. Por sua vez o Airbus A350 XWB já é constituído por mais de 1 000 componentes que foram produzidos por impressão 3D, representando um passo muito significativo na utilização de novos materiais, inclusivamente mais leves, cumprindo os padrões de segurança exigidos pela companhia aérea (Simmons, 2015).

5.14. Novos materiais, novas estruturas

O século passado foi pródigo na implementação de normas pré estabelecidas de como o material se apresenta, causando determinados constrangimentos para o *design* dos produtos sob uma a premissa técnica limitativa entre o possível e o desejado.

Foi assim com os metais, os papéis, os tecidos estandardizados e pré-formatados que originou uma infinidade de placas, tubos, chapas, perfis, barras entre outros, numa variedade de formas circulares, retangulares, quadradas, ovais... Numa infindável quantidade de referências, que obrigou armazéns e lojas já repletas de material a ir ao encontro das

⁶⁷ GE Aviation, uma subsidiária da empresa General Electric, que se encontra atualmente entre os principais fornecedores de motores, na grande maioria para as aeronaves comerciais.

crescentes variedades de soluções e necessidades do mercado. Originou *stocks* massivos de materiais parados nos ditos armazéns ou a exposições nos estabelecimentos, nalguns casos durante décadas face à fraca procura que algumas configurações suscitam no mercado. Bastante diferente de uma produção a pedido e só realizada quando necessária (*Just-in-time*).

São os espaços físicos (como os armazéns) que albergam toda esta imensidão de variedades de materiais e respetivas soluções operacionais, tais como seguros, gestão de *stocks*, as infindáveis multiplicidades de máquinas – de dobrar, de cortar, de vincar, de perfurar, de moldar, de esticar e montagem nas ligações de componentes através de soldas, encaixes, colagens, uniões, peças, parafusos, entre outros – que originam uma diversidade infinita de soluções técnicas por material para cada exigência estrutural.

Atualmente o aparecimento de novos processos de produção aditivos (3D) registam um aumento gradual da sua utilização, captam o interesse por parte de *designers*, engenheiros, produtores e do público em geral.

Diversas empresas fornecem bases de dados para a produção aditiva sobre uma variedade de mais de 700 materiais, detalhando 550 máquinas (Granta, 2017), e serviços (Starck, 2017) ou como índices das propriedades físicas, mecânicas, óticas e elétricas (Bourell *et al.*, 2017), assim como diversos grupos e comunidades organizados em plataformas com interesse específico pelo tema (Connect, 2017).

Os materiais utilizados são variados e a sua composição depende do tipo específico da tecnologia aditiva utilizada e dos materiais pretendidos entre metais, cerâmicas, polímeros, compósitos ou vidro... (SPI Lasers, 2017) que se apresentam sob a forma de quatro categorias principais; líquido, pasta, pó e folhas sólidas. As novas liberdades proporcionadas pelas novas tecnologias permitem que o *design* seja constituído por novas estruturas de materiais através de malhas e de espumas que compõem o interior dos componentes e lhes conferem melhores atributos técnicos como maior resistência à corrosão e rigidez (Guo e Leu, 2013).

Estes novos processos de produção têm o potencial de aumentar os níveis de reciclagem incorporando diversos resíduos reutilizados como metais (em pó ou resina), em cerca de 95 a 98% (Filipovic *et al.*, 2011). Assim como uma diversa gama de plásticos, já disponíveis no mercado, como por exemplo o polietileno tereftalato (PET), o polilático (PLA), o poliestireno (PS), o polietileno de baixa densidade (LDPE), a poliamida (PA), assim como o polipropileno (PP).

Neste novo contexto, são adicionadas funcionalidades aos produtos inclusivamente através das diversas camadas que compõem o material em função das características técnicas e mecânicas pretendidas (Naebe e Shirvanimoghaddam, 2016).

Recentemente e face aos desenvolvimentos verificados neste campo surge o próximo nível de materiais para impressão 4D, que tem conquistado a especial atenção da comunidade científica (Elsevier, 2017). Uma técnica de produção por deposição de camadas, utilizadas para produzir formas geometricamente complexas (à semelhança da 3D), mas neste caso os materiais são sensíveis a estímulos tendo a capacidade de mudar para se adaptar às condições ambientes. É o caso do Projeto 4D Printing: Smart Parts Self-Assemble, dirigido por Skylar Tibbits, da Self-

Assembly Lab, no MIT; Conferindo aos materiais uma versatilidade do seu estado permitindo dobrar, expandir entre outras transformações (Self-Assembly Lab, 2017). Este novo e emergente campo de estudos demonstra um enorme potencial para novas aplicações.

Mas como tudo começou?

Em 2013, Qi Ge da Universidade do Colorado Boulder, H. Jerry Qi, professor no Instituto Tecnológico da Geórgia e Martin L. Dunn da Universidade de Design e Tecnologia de Singapura (Ge *et al.*, 2013), desenvolveram com sucesso um processo designado por “impressão 4D”. Esta abordagem foi publicada no artigo *Active Materials by four-dimension printing* (2013) entre diversos outros colmatados em 2017 por *Direct 4D Printing via Active Composite Materials* (Ding *et al.*, 2017), que consistiu na incorporação de fibras de polímeros com “memória de forma” que permitiu que um objeto em 3D quando aquecido ou arrefecido a uma determinada temperatura adquira uma forma diferente da inicial. O financiamento de investigação assegurado por parte da *Air Force Office of Scientific Research* e da *Nacional Science Foundation*, possibilitou aos autores criar arquiteturas específicas de fibras nos níveis de lâmina e laminado para diversos materiais compósitos. Segundo os autores em “3D Printed Reversible Shape Changing Components with Stimuli Responsive Materials” (Mao *et al.*, 2016), viabilizando uma crescente liberdade no *design* de compósitos com comportamentos termodinâmicos baseados numa arquitetura, forma, tamanho e orientação de fibras variáveis e adaptáveis, inclusivamente à mudança espacial desses mesmos parâmetros.

Futuramente, esta abordagem permitirá inclusivamente a utilização desta técnica com novos materiais (Butterman, 2014) abrindo um potencial de oportunidades ainda por explorar.

Nota conclusiva

“Indústria 4.0” é a designação da iniciativa no fornecimento de soluções avançadas de produção, sendo um dos 10 projetos futuros inseridos na Estratégia de Alta Tecnologia 2020. É impulsionada por SCF - Sistemas Ciber Físicos onde a informação dinâmica em rede e a produção inteligente se combinam para revolucionar os processos. Procura identificar e generalizar padrões quantitativos subjacentes através de sistemas complexos adaptativos onde as tecnologias e os objetos físicos interagem com a *internet*, com as redes, com a eletrónica, sensores, entre outros, dando expressão a uma nova linguagem global de produção. O modelo de “fábrica inteligente” torna-se norma, onde máquinas e sistemas com base nas TIC, são capazes de trocar e tomar decisões descentralizadas, baseadas em mecanismos de auto organização, em tempo real. Tem por objetivo informatizar métodos tradicionais de produção onde a digitalização surge como fio condutor de uma nova linguagem global, universal que une processos de fabrico ao longo de toda a cadeia de valor, desde fornecedores, parceiros de negócio aos próprios clientes.

Verificou-se nas últimas décadas uma diminuição da importância da indústria na riqueza gerada a nível mundial (PIB). A Indústria não perdeu importância absoluta mas relativa, ou seja continuou a aumentar em termos reais mas a diminuir comparativamente aos índices de crescimento verificados na economia global, por diversas ordens de fatores.

Em primeiro lugar, estamos atravessar um período de transição. Aparentemente alicerçados na revolução digital que decorre desde o último quarto do século passado para esta nova conjuntura onde se verifica uma crescente fusão de tecnologias que desfocam as linhas entre as esferas físicas, digitais e biológicas. Esta junção de propensões impulsiona o mercado e favorece a alteração de regras que conduzem a uma mudança de tecnologias tradicionais para modelos de negócio inovadores. Estes são fundamentais para alcançar novos índices de produtividade e competitividade das organizações e dos países. Estas interações resultam de um processo evolutivo determinado em grande medida por interlocutores (empresas, organizações, entidades) que tem no seu ADN uma tendência para colmatar e responder com inovações. O panorama digital e intangível nas TIC e inclusivamente no comércio eletrónico, atingiram patamares assinaláveis. Embora algumas empresas, como a Amazon, a Alibaba, (...), tenham despoletado novas dinâmicas, por revolucionarem o comércio, ainda se encontram cimentados a processos de fabricação tradicionais, comparativamente à indústria 4.0 que pretende fazer a ligação direta entre o produtor e o consumidor (P2C).

Embora o comércio assim como os fluxos financeiros transfronteiriços tenham estagnado desde 2008 com reflexos no sistema produtivo, os fluxos digitais não param de crescer. A utilização de informação num contexto digital cresceu 45 vezes ao longo da última década. Os fluxos conjuntos transfronteiriços de bens, serviços, finanças, pessoas e dados contribuíram em 2014, num aumento no PIB mundial em cerca de 10%, representando um acréscimo de 7,8 trilhões de US \$. Por sua vez os fluxos de dados e a componente digital, por si só, representaram cerca de 2,8 trilhões US \$ desse valor, mais de 35%, traduzindo-se num impacto superior ao do comércio de bens globais. Uma descoberta interessante e notável, dado

que as redes comerciais no mundo foram desenvolvidas ao longo dos séculos, enquanto os fluxos num contexto digital de dados transfronteiriços surgiram apenas há 15 anos atrás.

Outro dos fatores reside na terceirização (*outsourcing*) de atividades e na fragmentação sofrida ao longo dos últimos anos na própria estrutura das unidades de produção sob o lema da especialização, tendo esse facto fomentado que diversas ocupações anteriormente endógenas ao sistema como a limpeza, a segurança, a contabilidade, os transportes, a informatização ou a logística tenham migrado progressivamente para os serviços.

O último dos aspetos prende-se com a deslocalização (*offshoring*) das atividades para locais mais favoráveis à produção, no intuito de obter benefícios através da diminuição de custos (quer através de remunerações, energia, entre outros). Este afastamento repercute-se segundo autores do MIT (2013) numa diminuição na cadência das inovações em economias mais desenvolvidas dificultando a transição para futuras rodadas de produto ou inovação e em simultâneo verifica-se o desaparecimento das forças e capacidades críticas que antes serviam para impulsionar a economia. Este contexto conduziu a uma visão do conceito em formato de curva (*The Smiling Curve*) que descreve o aumento da importância das fases pré e pós produção como elementos cada vez mais preponderantes no valor global dos produtos. Segundo este, ao longo do ciclo de vida das inovações, a marca, o *design*, a distribuição, o *marketing* e os serviços pós venda adicionam maior valor ao invés da produção considerada como o parente pobre de toda a cadeia de valor.

Alguma prudência já que... na EU se pretende atingir a meta de 20% do PIB até ao ano de 2020, acrescentando que por cada euro gerado pela indústria no PIB, corresponde a mais 1,3 euros noutros setores de atividade (ou seja 46% do PIB). O mercado ora impulsionado pela oferta (*Push*) ora pela procura (*Pull*), reformula os contextos e dificulta o posicionamento do setor produtivo numa exigência constante de meios e recursos para se adaptarem às novas realidades. A economia de escala corresponde à massificação da produção de grandes volumes sendo gradualmente complementada por uma economia de escopo (numa maior variedade que passa a ser customizada ou personalizada), face às necessidades do mercado em tempo real. Estaremos a caminhar de macro para micro multinacionais? As atuais pequenas e médias empresas encontram-se num patamar distinto das tradicionais predecessoras de presença local e hierarquizada. Nascem e desenvolvem-se em ambientes globais em virtude do rápido e fácil acesso à *internet* que as conecta a um mercado globalizado. Estes factos alteraram as regras do jogo pré-estabelecido e a própria organização das corporações mais jovens e predispostas às inovações disruptivas, possibilitando uma flexibilidade na adaptação a novos modelos de negócios.

As melhorias tecnológicas permitem individualizar os produtos até uma única unidade, atraindo o consumidor para o processo, muito semelhante ao registado na produção artesanal mas com maiores graus de flexibilidade e de complexidade tanto a nível do *design* como das ferramentas utilizadas. Os produtos inteligentes daí resultantes quando distribuídos pelo mercado fornecem preciosas informações para uma próxima etapa, onde as novas solicitações e ou exigências podem conduzir a alterações em que o processo pode ser novamente

reformulado, descrevendo uma evolução no desenvolvimento de uma nova variante do produto e da produção.

Os maiores proveitos não advêm exclusivamente da componente digital, mas da interseção entre os consumidores, a inovação, o produto e/ou serviço. Este novo ambiente de proximidade vai transformar profundamente as redes de produção e de distribuição. Aventa-se a possibilidade de unidades móveis ou de pequenas unidades autónomas possam ser itinerantes modificando a abordagem e contexto das existentes (fixas) para uma perspetiva mais dinâmica e biológica de novas estruturas face às necessidades do mercado. A indústria não se confina à produção, ela própria começa a fornecer serviços. Esses novos modelos de negócio impulsionados por uma estreita colaboração entre as partes interessadas na produção resultam de diferentes habilidades e conhecimentos suportados pelas tecnologias. As habilidades em permanente mutação exigem aprendizagens contínuas que por si só se transformam numa competência básica e primordial neste processo evolutivo.

A produção aditiva (AM) evidencia capacidades de impulsionar a complexidade no *design* dos objetos simplificando simultaneamente os processos de produção num menor espaço de tempo, com equipamentos mais acessíveis, reduzindo o material e os resíduos. A fusão das tecnologias de AM com os métodos de produção subtrativos incluindo o Controlo Numérico Computadorizado (CNC), agora designado por produção CNC Híbrida, oferece inúmeras vantagens desde os menores custos na aquisição de equipamentos, assim como exigindo menor tempo de aprendizagem. Demonstra as potencialidades do sistema funcionando quer no método subtrativo, ou no aditivo separadamente para produzir um objeto 3D, ou inclusivamente em modo híbrido alternando entre operações subtrativas e aditivas. A produção aditiva é representada por inovadoras tecnologias que rompem com o tradicional, reduzindo significativamente a escala mínima de eficiência, expandindo simultaneamente as economias de escopo disponíveis.

A indústria como um ecossistema dificilmente será gerida como um processo centralizado, mas sim descentralizado envolvendo todos os intervenientes. A perspetiva da imposição na organização de estruturas muito complexas geridas de cima para baixo (*Top-Down*), expirou. As inovações manifestam-se essencialmente através de abordagens ascendentes envolvendo menores riscos face a crescentes incertezas e a volatilidades constantes sentidas nos próprios mercados.

A transformação digital da economia global está a criar uma grande mudança do paradigma, onde se assiste progressivamente a uma nova tendência, em que produtos e serviços *online* se fundem para se transformarem em "produtos e/ou serviços inteligentes" numa nova indústria de inovações híbridas. As empresas que oferecerem melhorias substanciais de produtividade dos recursos existentes serão as grandes empresas do século XXI.

Capítulo VI

Conclusões Finais

Atualmente existe um consenso razoável que a utilização de matérias-primas pela população é um dos principais motores da mudança ambiental global. Sem dúvida, que o principal agente de mudança ambiental induzido pelo homem verificado durante o último século tem sido o crescimento quase exponencial do metabolismo industrial, ou seja, a introdução de materiais e de energia no sistema socioeconómico.

Esta abordagem pretendeu esclarecer a interação entre a atividade económica e a utilização de materiais, ou por outras palavras, sobre a questão fundamental da “dissociação ou desacoplamento” (*decoupling*) entre o crescimento económico e o consumo de materiais, um tema atual, argumentado por diversos investigadores um pouco por todo o mundo, também reconhecido na literatura técnica como “desmaterialização” da economia.

O objetivo do 1º capítulo foi o de realizar um levantamento da produção e do consumo mundial de um conjunto de 114 materiais mais utilizados em aplicações atuais na indústria no intuito de identificar padrões de materialização e / ou desmaterialização durante o último meio século.

Os resultados obtidos não permitem afirmar perentoriamente que a sociedade está sob efeito da “desmaterialização”, no entanto, ao longo do capítulo ressaltaram algumas tendências positivas que nos permitem algum grau de otimismo respeitante a uma redução do metabolismo global futuro, assim como uma diminuição do seu impacto no meio ambiente. Por outras palavras, os padrões identificados apontam para que a capacidade tecnológica crescente contribua para um aumento da eficiência na utilização de matérias-primas. A evolução comparativa dos materiais sob o efeito da materialização entre a década de 1960-2015 era de 43 elementos passando para 25 entre 2010-2015 em contrapartida os elementos sob o efeito da desmaterialização registam uma inversão passando dos 10 materiais no primeiro período para 44 nos últimos cinco anos. Estes indicadores traduzem claramente uma visão de esperança num cenário futuro que embora não demonstre uma desmaterialização absoluta, pelo menos, evidencia um comportamento estabilizado e sustentável, permitindo que o crescimento económico se dissocie do consumo de matérias-primas.

Os resultados demonstram que a China utiliza uma maior quantidade de materiais *per capita*, em virtude dos seus cidadãos usufruírem de maiores rendimentos aumentando o seu poder de compra o que lhes permitem adquirir melhores habitações elevando assim o bem estar das populações. Não obstante este padrão não é eterno já que diminuirá à medida que as necessidades existentes sejam satisfeitas ou colmatadas como se pode verificar nos últimos cinco anos analisados. A evidência da importância da China na produção/consumo de cimento pode perfeitamente constituir o tipo de mecanismo para a obtenção de uma redução a longo prazo no espectro da procura. Todavia, a extensão em que serão substituídos por outras economias em rápido crescimento (como a Índia, entre outros) que emergem em direção a

padrões de vida mais elevados é uma incógnita, mas fundamental para os resultados futuros na desmaterialização.

Alguns investigadores podem argumentar que o resultado apresentado relativamente aos 44 materiais que evidenciam um efeito de desmaterialização é derivado fundamentalmente à recessão ou a uma visão de crise económica global verificada nos últimos anos. No entanto relativamente a este ponto, é importante salientar que muitos economistas sugerem que não enfrentamos nem uma recessão global, nem qualquer tipo de crise económica, mas ao invés disso que a economia global não vai voltar a atingir os índices de crescimento verificados em vários períodos dos últimos sessenta anos. Uma diversificada literatura surgiu nos últimos anos (Gordon, 2016; Heinberg, 2012; Rubin, 2012, Galbraith, 2014) acompanhada por relatórios técnicos (Summers, 2008; Lang *et al.*, 2016; Buchanan, 2016) sugerindo que o crescimento económico não se verifica nos moldes anteriormente estabelecidos, ou seja, que a riqueza gerada não depende tão pronunciadamente do consumo de materiais. Esta análise demonstrou que do conjunto de 114 materiais analisados, os seres humanos necessitavam de consumir 494g para produzir um dólar em 1960, e atualmente podem produzir o mesmo dólar com apenas 191g.

No 2º capítulo abordou-se o esforço médio exigido por pessoa (IEME - *Individual Effort of Materials in Economics*) para satisfazer uma determinada necessidade no consumo global de 79 materiais fundamentais para a indústria assim como do esforço global e sua riqueza gerada na economia global (GEME - *Global Effort of Materials in Economics*) entre 1960 e 2015. Estão subdivididos em 5 grupos principais que apresentaram maior média de crescimento verificado no capítulo anterior. Representam em 1960 cerca de um quarto (26%) do consumo (M_t) dos materiais analisados passando para mais de metade (54,7%) no ano de 2015, totalizando $1,13 \times 10^{10}$ de toneladas métricas. Assim como fornecem o maior número de materiais sob o efeito da materialização registado no capítulo anterior entre 1960 e 2015. Recordando, dos 26 materiais identificados foram abordados 22, cerca de 85%. Neste caso excluindo os plásticos assim como o aglomerado de madeira, as fibras sintéticas e o papel reciclado que se torna inclusivamente benéfico para o meio ambiente.

Embora o valor total do consumo deste conjunto de materiais tenha aumentado a nível global entre 1960 de $8,97 \times 10^{10}$ (30 US\$ *per capita*) para $2,72 \times 10^{12}$ (370 US\$ *per capita*) em 2015 representa no entanto uma redução substancial do esforço global dos materiais na economia (IEME) passando de 6,56% para 3,65% respetivamente. Tal facto traduz-se numa diminuição em cerca de -45% do esforço *per capita* para satisfazer uma necessidade deste conjunto de materiais no período em questão.

A variação percentual do valor dos grupos de materiais comparativamente à riqueza gerada por indivíduo entre 1960 e 2015 revela uma diminuição em cerca de -75%, representando uma redução muito substancial do esforço exigido para satisfazer uma determinada necessidade (IEME) utilizando este conjunto de materiais. Entre os que apresentam maior diminuição encontram-se os Não metais, as Rochas & Pedras e os Metais, com -89%, -85% e -80%

respetivamente. Com taxas com pendor negativas mas menos acentuadas temos os Semi-metais, e os Minerais com -60% e -63% respetivamente.

O impacto dos materiais na economia e no meio ambiente dependem em certa medida do desacoplamento do consumo/produção de materiais e da riqueza gerada (PIB) (UNEP, 2011). Fatores indissociáveis permitiram determinar a sua influência no grau de importância relativa dos elementos demonstrando que dos 79 materiais analisados, 29 deles (37%) foram impulsionados com maior pendor pelo consumo (M_t) e a grande maioria 50 (63%) pelos custos associados (V_s).

Procedeu-se posteriormente a uma análise dos 22 elementos que se encontram sob efeito da materialização (Consultar Capítulo anterior) dos quais somente 10 materiais (45%) apresentam um aumento do esforço médio exigido *per capita* face à riqueza gerada (IEME). Em contrapartida são 12 (55%), que refletem uma diminuição do seu impacto na carteira das populações. Esta perspetiva animadora aponta para um desacoplamento ou dissociação da maioria dos materiais que se encontram a materializar.

Os 22 elementos sob o efeito de materialização têm um impacto de 0,783% no GEME em 2015 e representam um consumo de 605 Kg/*per capita*. Sendo que somente 10 desses elementos evidenciam um crescimento no esforço médio despendido *per capita* para satisfazer uma determinada necessidade utilizando este conjunto de materiais (IEME), o que representa somente 3% deste grupo ou 0,021% do PIB com um consumo médio de 3,7 Kg/*per capita*. Incluindo o estrôncio que revela uma acelerada diminuição nos últimos 15 anos em consequência da substituição tecnológica verificada nos televisores com tubo de raios catódicos.

Os restantes 12 elementos evidenciam uma trajetória inversa e revelam um menor esforço (IEME), no entanto representam a grande maioria do grupo (97%), ou seja 0,762% da riqueza gerada a nível mundial GEME e um consumo de 601,3 Kg/*per capita*. Estes dados são bem elucidativos da importância relativa do comportamento de desacoplamento ou dissociação deste conjunto de materiais da economia.

Relativamente ao posicionamento geoestratégico de entre os materiais analisados no 3º capítulo, destacam-se essencialmente o cobalto, a platina e as terras raras que apresentam situações geoestratégicas peculiares ou concentradas. Concluindo-se que estes três materiais são de extrema relevância podendo funcionar como um elemento retardatário para o desenvolvimento tecnológico.

Verificou-se que os materiais raros são subdivididos pelo grupo dos metais: o bismuto, cádmio, índio, mercúrio, ouro, platina, prata, rênio, tálio. Pelo grupo dos Semi-metais, são o antimónio, o arsénio, o germânio e o telúrio. Pelo grupo dos não metais, o bromo, o iodo e o selénio.

Relativamente à toxicidade, dos elementos analisados, nesta abordagem verificam-se índices de elevada perigosidade em certos materiais: do grupo dos Metais, o cádmio, chumbo, mercúrio, arsénio, crómio (hexavalente) e o arsénio. Pelo grupo dos Minerais, o amianto,

sujeitos a normas restritas. Alguns materiais apresentam níveis de toxicidade no material elementar e nos seus compostos. Outros ainda são inertes ou inócuos para o ser humano e meio ambiente. O simples facto de alguns materiais demonstrarem índices de toxicidade deveria de constituir motivo para deixarem de ser procurados, minerados ou mesmo utilizados em produtos de pequena ou grande escala. No entanto, a indispensabilidade do seu uso demonstram um efeito de materialização pelo facto de não existirem substitutos com características semelhantes, traduzindo-se numa necessidade premente. De destacar alguma discrepância entre as diversas fontes inclusivamente contraditórias, que carecem de uma investigação mais aprofundada.

Na análise comparativa entre o período de 2000-2015 e o de 1960-2105, relativamente aos materiais sob o efeito da desmaterialização conclui-se que no período entre 1960-2015 existiam 14 elementos nesta condição passando para 44 entre 2010-2015, ou seja triplicou o número verificado anteriormente. Ingressando uma diversidade assinalável de materiais (33) para esta condição é de salientar que deixaram de ser predominantemente materiais com elevado grau de toxicidade. Um fator muito importante já que se traduz num elevado grau de desmaterialização. Mantiveram-se nos dois períodos em análise 11 elementos nestas circunstâncias entre os quais se evidencia o amianto (aparentemente devido às restrições impostas que parecem ter surtido efeito assim como os casos do tálio e do arsénio. Por sua vez as saídas são proporcionadas por três materiais, tendo a revelar um facto preocupante relativamente ao mercúrio que deixou de estar a desmaterializar passando a um consumo de 3 270 t em 2015 (embora este elemento sofra constrangimentos ao seu consumo por restrições ambientais e de toxicidade ainda são insuficientes para diminuir o seu consumo sendo em certos casos imprescindível e aparentemente insubstituível).

Relativamente à comparação entre o período de 2000-2015 e o de 1960-2105, relativamente aos materiais sob o efeito da materialização verificou-se que existiam 26 elementos nesta condição passando para 25 entre 2010-2015, ou seja menos um do que o verificado anteriormente. Entrando para o período 2010-2015 acrescem mais 15 elementos no entanto anulado pelas saídas que apresentam o mesmo valor. Destaca-se a saída dos plásticos do conjunto de materiais sob efeito de materialização interrompendo um período de 5 décadas consecutivas nessa categoria. Mantiveram-se 10 elementos na mesma condição, porém as movimentações fornecem um panorama das matérias-primas com maior ou menor relevo neste contexto. De salientar que nos materiais que entram sob efeito de materialização entre 2010-2015 se encontravam elementos fundamentais no contexto desta nova tecnosfera funcionando como prenúncio do advir.

Por último verifica-se que as mais recentes inovações tecnológicas optam gradualmente por alguns materiais raros ou pouco abundantes precisamente porque estes incluem qualidades excecionais que não conseguem ser superadas por substitutos ou materiais mais convencionais.

Posteriormente no 4º capítulo abordou-se a componente intangível nas inovações decomposta quer sob o espectro de Investigação e Desenvolvimento (I&D), da tecnologia, do

design, das *patentes* ou do *marketing*, tendo contribuído decisivamente para o crescimento da cadeia de valor como um todo. Neste clima versátil e interativo, o valor reside com maior incidência na interoperabilidade entre os produtos e os serviços, o material e o digital. Repercute-se decisivamente sobre as inovações bem-sucedidas que prosperam, assim como das empresas e organizações que as detenham, as mesmas consideradas como inovações. Supostamente, as inovações beneficiam com a junção dos ambientes ciber físicos proporcionando melhores condições para se adaptarem, para se multiplicarem e difundirem transversalmente por toda a sociedade, inclusivamente pelos diversos setores de atividade mais tradicionais e esta delimitação setorial não constitui uma barreira à progressão deste novo contexto.

Sensivelmente no virar do novo milénio as TIC impulsionaram o fluxo de comunicações num formato digital com base em novas tecnologias superando as analógicas. Este crescimento não é imune a uma célere taxa de adoção à infraestrutura digital, cinco vezes mais rápida do que o verificado pela eletricidade e pela telefonia (Cisco, 2017). A tecnologia sem cabos permite a países em desenvolvimento e aos BRIC, os quais não dispõem ainda de infraestruturas de telecomunicações com fio de cobre concluídas, transferir-se diretamente para inovações mais recentes sem ter de recorrer ao tradicional fio de cobre.

No ano de 2006, das seis empresas com maior valor de mercado só a Microsoft se intrometia entre os predominantes colossos da banca e do petróleo (The World's Biggest Companies, 2017). Outro marco assinalável foi atingido no ano de 2008, como ponto de inflexão, quando o número de dispositivos e objetos conectados à *internet* (6 721 mil milhões) superou a população mundial. Assiste-se a uma crescente massificação das inovações digitais (intangíveis) com grande impacto social, que todavia segundo diversos economistas, não impulsionaram o crescimento da economia como esperado. Em 2013, o tráfego registado pelos dispositivos “inteligentes” atingiu os 58% do volume global de informação com 9,4 mil milhões de terabytes por mês ao invés dos restantes dispositivos convencionais que se limitava aos 6,7 mil milhões de terabytes.

Em 2017, os três gigantes com maior valor de mercado (Apple, Alphabet e Microsoft) correspondem sensivelmente à riqueza gerada pela soma das economias de 3 países durante um ano (PIB), neste caso Portugal, Espanha e Polónia (World Bank, 2018; Forbes, 2017). Estas empresas, anteriormente consideradas exógenas ao aparelho produtivo transformam-se em endógenas, passando de elo a núcleo. É curioso verificar que nos últimos 14 anos ainda não surgiu nenhuma grande empresa tecnológica de renome.

À semelhança do que aconteceu nas comunicações, prevê-se que ocorra noutros setores de atividade. As novas tecnologias migram gradualmente para outros tipos de inovações exigindo conectividade, desde a sua utilização em veículos, em aplicações, no vestuário, em sistemas de domótica, de climatização ou de segurança, entre outros.

Aparentemente algo de novo está a acontecer...

A componente intangível está a aumentar nas inovações. Em contrapartida, o valor dos materiais como verificado numa análise entre *smartphones*, corresponde somente a uma média

de 21,6% do valor dos dispositivos analisados. Num mundo em as empresas de cariz tecnológico já revolucionaram o sector dos *media* e o das telecomunicações, preparam-se agora para levar o seu ADN para outros domínios. O resultado é a emergência de um novo ecossistema de parcerias onde os intervenientes beneficiam mutuamente, quer os setores tradicionais através de novas tecnologias, quer os intervenientes da área das TIC, pela sua crescente influência e poder no mercado.

Tendencialmente o produto passa a ser visto como um serviço. O produto deixa de ser exclusivamente físico transportando consigo uma componente digital ou intangível permitindo estabelecer novas relações, criando inclusivamente uma nova identidade nos produtos como se de um contribuinte se tratasse.

Os novos ambientes inteligentes proporcionam inovações cada vez mais interativas, complexas e conectadas. Consequentemente, a realidade aumentada (M2H) altera a forma como interagimos com o meio envolvente. As máquinas também comunicam e interagem entre si (M2M) através de sensores e algoritmos, autonomamente e em tempo real, evidenciando um aumento da componente intangível. Os produtos físicos revelam uma tendência crescente na valorização da componente digital e pelo contrário nas inovações digitais verifica-se o inverso, ou seja, uma maior interdependência com o mundo físico, provocando uma maior interação e cooperação entre estes dois lados opostos da mesma moeda.

Em suma, as inovações possibilitam novas abordagens para questões antigas relacionadas com a intensidade na utilização e eficiência de recursos indexado ao crescimento da economia, permitindo desenvolver potenciais reduções dramáticas no consumo de recursos naturais. Por falar em eficiência, a maioria dos veículos automóveis particulares passam cerca de 96% do tempo em garagens ou estacionamento. Tal como se verifica um sobredimensionamento do número médio de lugares ocupados nos veículos, o mesmo se regista com as redes viárias, para além do flagelo dos congestionamentos, geralmente a determinadas horas e em sentido único, diminuindo drasticamente a velocidade média de circulação com consequências nefastas em termos económicos, nos recursos, no ambiente e na qualidade de vida das populações. A pertinência relativa à eficiência dos veículos automóveis quando confrontados pelo tipo de utilização a que são sujeitos limita-se somente a 2,6% do tempo, 0,8% à procura de estacionamento e 0,5% em congestionamentos, passando a grande maioria do tempo sem qualquer tipo de atividade.

Tendencialmente será propício à utilização mais intensiva de *interfaces*, viabilizadas pelas novas tecnologias aplicadas a um mundo incorpóreo, imaterial, virtual, quase abstrato. Esta mudança manifesta-se através de uma transição ou como complemento de soluções virtuais adaptadas aos produtos físicos, expressando uma procura incessante de novos mundos, novos ambientes, novos contextos, novos modelos de negócios e consequentemente em novas oportunidades. Esta junção é um fator determinante na evolução do intercâmbio social, económico, tecnológico e cultural das populações.

A revolução dos recursos representa uma das maiores oportunidades comerciais, no entanto, o sucesso exige novas abordagens. Os cenários possíveis resultam em complexas

inovações híbridas diversas vezes consequentes de uniões ou parcerias como as preconizadas por distintas empresas e organizações. Neste clima versátil e interativo, o valor reside com maior incidência na interoperabilidade entre os produtos e os serviços, o material e o digital.

A próxima onda de inovações pode tomar uma direção substancialmente diferente do que nos temos familiarizado, o que se verifica é que têm algo em comum, uma crescente componente intangível. Os avanços tecnológicos registados oferecem além de desafios, inúmeras oportunidades para estimular a próxima revolução industrial.

Neste contexto surge o 5º capítulo sob a designação de “Indústria 4.0” sendo a designação da iniciativa no fornecimento de soluções avançadas de produção, um dos dez projetos futuros inseridos na Estratégia de Alta Tecnologia 2020. É impulsionada por SCF - Sistemas Ciber Físicos onde a informação dinâmica em rede e a produção inteligente se combinam para revolucionar os processos. Procura identificar e generalizar padrões quantitativos subjacentes através de sistemas complexos adaptativos onde as tecnologias e os objetos físicos interagem com a *internet*, com as redes, com a eletrónica, com sensores, entre outros, dando expressão a uma nova linguagem global de produção. O modelo de “fábrica inteligente” torna-se norma, onde máquinas e sistemas com base nas TIC, são capazes de trocar e tomar decisões descentralizadas, baseadas em mecanismos de auto organização, em tempo real. Tem por objetivo informatizar métodos tradicionais de produção onde a digitalização surge como fio condutor de uma nova linguagem global, universal que une processos de fabrico ao longo de toda a cadeia de valor, desde fornecedores, parceiros de negócio aos próprios clientes.

Observou-se uma gradual diminuição da importância a nível global do setor industrial comparativamente à riqueza gerada (PIB). No entanto essa perda não foi absoluta mas relativa já que continuou a aumentar em termos reais, diminuindo face aos índices de crescimento verificados na economia, por diversas ordens de fatores.

Em primeiro lugar e não por ordem de importância pode-se destacar o facto de ainda estarmos alicerçados no contexto da 3ª revolução industrial marcado por uma forte componente digital onde se verifica uma crescente fusão de tecnologias que desfocam as linhas entre as esferas físicas, digitais e biológicas. Esta junção de propensões impulsiona o mercado e favorece a alteração de regras que conduzem a uma mudança de tecnologias tradicionais para modelos de negócio inovadores, proporcionando novos índices de produtividade e competitividade das organizações e dos países. A componente digital e intangível atingiu patamares assinaláveis fomentando o aparecimento de empresas, como a Amazon ou a Alibaba, (...), caracterizadas por novas dinâmicas, ao revolucionarem o comércio, ainda que se encontrem alicerçadas a processos de fabricação tradicionais, comparativamente à indústria 4.0 que pretende fazer a ligação direta entre o produtor e o consumidor (P2C).

Desde o ano de 2008 que os fluxos financeiros transfronteiriços e o comércio estagnaram com óbvias consequências no sistema produtivo. Pelo contrário, os fluxos digitais não param de crescer onde a informação cresceu 45 vezes ao longo da última década. Em 2014 os fluxos

conjuntos transfronteiriços de bens, serviços, finanças, pessoas e dados contribuíram, para um aumento no PIB mundial em cerca de 10%. Um evento notável, já que as redes de comércio mundial foram desenvolvidas ao longo dos séculos, em contrapartida os fluxos de dados num contexto digital transfronteiriços surgiram há apenas 15 anos atrás.

Outro dos aspectos prende-se na deslocalização (*offshoring*) das atividades industriais para locais mais favoráveis, com o propósito de obter benefícios através da diminuição de custos. Este facto refletiu-se numa diminuição na cadência das inovações em economias mais desenvolvidas impedindo a transição para futuras rodadas de produto ou inovação concomitante ao desaparecimento das forças e capacidades críticas que antes serviam para impulsionar a economia, segundo estudo do MIT (Locke e Wellhausen, 2013).

O último dos fatores reside na terceirização (*outsourcing*) de atividades industriais e na fragmentação ocorrida ao longo dos tempos na própria estrutura das unidades de produção sob a máxima da especialização, tendo esse facto contribuído para que diversas ocupações endógenas ao sistema como a segurança, a informatização, os transportes, a logística, entre outros, tenham migrado gradualmente para os serviços.

A produção na cadeia de valor global do século XXI é caracterizada pela “*smiling curve*” proposta pelo diretor executivo da Acer que descreve o aumento da importância das fases pré e pós produção como elementos cada vez mais preponderantes no valor global dos produtos. Segundo este autor houve uma diminuição da importância da indústria, onde a produção é considerada como o parente pobre em toda a cadeia de valor, pelo contrário os serviços pós venda, da marca, do *design*, da distribuição e do *marketing* adicionam maior valor ao longo do ciclo de vida das inovações. A crise financeira de 2008 mostrou a debilidade no tecido produtivo expressando repercussões diferenciadas na Indústria mundial segundo as características de cada economia. Todavia a recuperação da Alemanha, à semelhança do verificado no Japão (após 2008) foi mais célere e expressiva supostamente em consequência de uma forte base industrial, alicerçada em inovações tecnológicas de alto valor agregado.

Alguma ponderação uma vez que a União Europeia pretende aumentar os níveis de produtividade industrial até 50% e reduzir simultaneamente para metade a quantidade de recursos necessários. Tendo por meta atingir os 20% do PIB até ao ano de 2020, tendo em consideração que por cada euro gerado pela indústria no PIB, corresponde a mais 1,3 euros noutros setores de atividade, traduzindo-se em cerca de 46% do PIB.

Atualmente, as pequenas e médias empresas encontram-se num patamar bastante diferente das tradicionais antecessoras hierarquizadas, de construção lenta e presença local. Nasceram e crescem em ambientes globais em virtude do fácil e rápido acesso à *internet* que as conecta aos mercados mundiais. Estes acontecimentos vieram alterar as regras do jogo e a própria disposição das organizações mais jovens e propensas às inovações disruptivas, adaptando-se mais facilmente a novos modelos de negócios. A economia de escala corresponde à massificação da produção sendo gradualmente complementada por uma economia de escopo (com maior variedade de produtos que passam a ser customizados ou personalizados), face às necessidades do consumidores/mercado em tempo real. O mercado ora impulsionado pela oferta

(*Push*) ora pela procura (*Pull*), reformula os contextos e dificulta o posicionamento do setor produtivo numa exigência constante de meios e recursos para se reajustarem às novas realidades.

As melhorias tecnológicas permitem individualizar os produtos até uma única unidade, atraindo o consumidor para o processo, muito semelhante ao registado na produção artesanal mas com um aumento significativo do grau de complexidade. As inovações resultantes, quando distribuídas e comercializadas pelo mercado, fornecem informações relevantes à próxima rodada de produtos. São impulsionadas por novas solicitações e ou exigências que provocam alterações no processo, relatando uma evolução no desenvolvimento de uma nova variante do produto e da produção. Este novo ambiente de proximidade vai modificar profundamente as redes de produção e de distribuição existentes. Sugere-se a possibilidade do crescimento de unidades móveis ou de pequenas unidades autónomas de cariz itinerante numa perspetiva mais dinâmica e biológica para novas estruturas face às necessidades do mercado.

A indústria como um ecossistema dificilmente será gerida como um processo centralizado, mas sim descentralizado envolvendo todos os intervenientes na cadeia de valor. A organização de estruturas muito complexas geridas de cima para baixo (*Top-Down*), transitam para abordagens ascendentes envolvendo menores riscos face a crescentes incertezas e a volatilidades constantes sentidas no próprio mercado.

A transformação digital da economia global está a provocar uma alteração do paradigma, em se assiste gradualmente a uma nova tendência, onde produtos e serviços *online* se fundem em inovações híbridas. As empresas que oferecerem melhorias substanciais de produtividade dos recursos existentes serão as grandes empresas do século XXI. No entanto a repercussão de tais intentos depende em larga medida de um ambiente empresarial e governamental inovador que promova essa complementaridade.

São diversos os casos observados um pouco por todo o planeta de uma designada economia circular, no entanto pela dimensão e situação geográfica (país em vias de desenvolvimento) reveste-se de particular relevância o caso que ocorre atualmente na Índia que já pavimentou cerca de 34 mil quilómetros de estradas utilizando plásticos reciclados (WEF, 2018). Preparando-se para prosseguir com mais de 83 mil quilómetros (duas voltas à terra), inserido num programa de construção de vias de transporte terrestre anunciado pelo governo local para os próximos cinco anos (Gulf News, 2018). Neste contexto confirma-se que os países não seguem necessariamente o mesmo padrão de desenvolvimento verificado nos mais desenvolvidos economicamente. Quando aplicado a uma nova tecnosfera ou paradigma por exemplo como o da mobilidade transformam radicalmente os critérios de eficiência (que não se restringem a comparações entre motores) reequacionando o problema como um todo face a uma nova abordagem sobre o tipo de utilização, que no caso particular do automóvel se restringe a cerca de 3%.

Partilhar inovações autónomas com identidade que pagam impostos como se de um ser humano se tratasse onde “fazer bem” se torna insuficiente numa perspetiva ao qual se acrescenta o termo “saber fazer o bem”. Aparentemente atravessamos um período que não se

restringe à produção ou comercialização, mas sim a como as populações fazem uso das inovações produzidas. Segundo Brian Arthur (2017) ainda estamos no início da mudança que será profunda desenvolvendo-se indeterminadamente no futuro como nas políticas, nas convicções do mercado livre assim como nas estruturas sociais. Será que agora já se pode perguntar: O que é que as empresas do sector digital ainda não entenderam?

As convulsões resultantes de uma mudança de inovações são sempre dinâmicas, é por isso que o futuro será sempre tão emocionante quanto o passado.

Referências Bibliográficas

- 3D Systems (2013).** *3D Systems Launches 3DMe on Cubify*. Get Yourself 3D Printed as a Full Color Figurine from a Photo. Press Releases. Disponível em: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-launches-3dme-cubify#.UjetlF8o6Uk> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- 3D Systems (2017).** Disponível em: <https://www.3dsystems.com> (Acedido a 29 de agosto de 2017)
- 3D Systems (2018).** Disponível em: www.zcorp.com/en/Company/Customers/Case-Studies/ymmons-Industries/spage.aspx Acedido a 23 de agosto de 2017)
- ABI Researcher (2012).** *Over 5 Billion Wireless Connectivity Chips Will Ship in 2013, Broadcom and Qualcomm are the Leading Suppliers*. London UK. Disponível em: <https://www.abiresearch.com/press/over-5-billion-wireless-connectivity-chips-will-sh/> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- ABOAGYE, Aaron, BAIG, Aamer; HENSLEY, Russell, PADHI, Asutosh and SHAFI, Danish (2017).** *Facing digital disruption in mobility as a traditional auto player*. December 2017, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/facing-digital-disruption-in-mobility-as-a-traditional-auto-player?cid=other-eml-alt-mip-mck-oth-1802&hlkid=4b22b130d5e842c69b647a725210c7bc&hctky=10211390&hdpid=e230703c-2b2f-4969-8374-5c7ad083625e> (Acedido a 27 de janeiro de 2018)
- ABRAMS, Randy; SU, Jerry; LI, Sam; WONG, Kyna and LIU, Hass (2017).** *Mature volumes, but still maturing content Drivers*. Asia Semiconductor Sector. January 5, 2017. Credit Suisse. Disponível em: https://research-doc.creditsuisse.com/docView?language=ENG&format=PDF&sourceid=em&document_id=1069235681&serialid=Mkn%2fQxGseW86N8m1fup3RreQjM38HIJgJ3emzhnRlvE%3d (Acedido a 15 de outubro de 2017)
- Acatech (2015).** *Smart Service Welt in partnership with Acatech. Recommendations for the Strategic Initiative, Web-based Services for Businesses*, Final Report (short version). Disponível em: http://www.acatech.de/fileadmin/dokumente_download/BerichtSmartService2015_E_kurz.pdf, (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- ACC (2018).** *Plastics. Study from Trucost Finds Plastics Reduce Environmental Costs by Nearly 4 Times Compared to Alternatives*. American Chemistry society. Disponível em: <https://plastics.americanchemistry.com/Study-from-Trucost-Finds-Plastics-Reduce-Environmental-Costs/> (Acedido a 1 de março de 2018)
- Accellta (2017).** Disponível em: <http://www.acellta.com> (Acedido a 23 de outubro de 2017)
- Acer (2017).** Disponível em: <https://www.acer.com/ac/pt/PT/content/home> (Acedido a 12 de setembro de 2017)
- ACSMME (2011).** *Metal raro é descoberto na Bahia*. Assessoria de Comunicação Social do Ministério de Minas e Energia (16 de fevereiro de 2011). Disponível em: <http://museugeologicodabahia.blogspot.pt/2011/02/metal-raro-e-descoberto-na-bahia.html> (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- ADAM, Marina (2017).** *Metal pouco conhecido disparou 375% este ano*. 11 de dezembro, 2017. Trading. Negócios. Disponível em: <http://www.jornaldenegocios.pt/trading/detalhe/metal-pouco-conhecido-disparou-375-este-ano> (22 de janeiro de 2018)
- Adidas Group (2016).** *Adidas expands production capabilities with speedfactory in germany*. Disponível em: <https://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/press-releases/2016/adidas-expands-production-capabilities-speedfactory-germany/> (Acedido a 5 de outubro de 2017)
- Adidas Group (2017a).** *Strategy Overview - We're all 'creating the new' - because we believe that through sport, we have the power to change lives*. Disponível em: <https://www.adidas-group.com/en/group/strategy-overview/>. (Acedido a 29 de novembro de 2017)
- Adidas Group (2017b).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/adidas/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Adobe Systems (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/adobe-systems/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- AE News (2004).** *Meet the Strati: A 3D Printed Electric Car*. Electric Cars | Future Technology | Transportation, AE News online. Disponível em: <http://www.alternative-energy-news.info/strati-3d-printed-electric-car/> (Acedido a 15 de setembro de 2017).
- Agência Lusa (2017).** *Quercus contra eventual exploração mineira na Serra da Argemela*. 24 maio, 2017, Nacional, in DN, Jornal de Notícias. Disponível em: <https://www.dn.pt/lusa/interior/quercus-contra-eventual-exploracao-mineira-na-serra-da-argemela-8503384.html> (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)

- Agência Lusa (2018).** *Concessão mineira da Serra da Argemela novamente contestada por Covilhã e Fundão*. 10/1/2018, Minas, in Observador. Disponível em: <http://observador.pt/2018/01/10/concessao-mineira-da-serra-da-argemela-novamente-contestada-por-covilha-e-fundao/> (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- AIGNER, Florian (2013).** *Industrie 4.0*. TU Wien, Technische Universität Wien. Disponível em: http://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/8293/, (Acedido a 15 junho de 2017)
- Airbnb (2017).** Disponível em: <https://www.airbnb.pt/about/about-us> (Acedido a 19 de janeiro de 2015).
- ALESSIO, L, L; CAMPAGNA, M, M and LUCCHINI, R, R (2007).** *From lead to manganese through mercury: mythology, science, and lessons for prevention*. American journal of industrial medicine. 50 (11): 779-787. PMID 17918211. doi:10.1002/ajim.20524
- Alibaba Group (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/alibaba/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- ALONSO, Elisa; SHERMAN, Andrew M.; WALLINGTON, Timothy; EVERSON, Mark P.; FIELD, Frank R.; ROTH, Richard and KIRCHAIN, Randolph E. (2012).** *Evaluating rare earth element availability: A case with revolutionary demand from clean technologies*. Massachusetts Institute of Technology - MIT. Environmental Science and Technology 46(6):3406-341 doi: 10.1021/es203518d.
- ALOR-HÉRNANDEZ, Giner; SANCHEZ-RAMIREZ, Cuauhtémoc and GARCIA-ALCARAZ, Jorge Luis (2016).** *Handbook of Research on Managerial Strategies for Achieving Optimal performance in Industrial Processes*. ISBN 9781522501305, edited by IGI Global Publishing. Disponível em: <http://www.igi-global.com/book/handbook-research-managerial-strategies-achieving/142137> (Acedido a 15 de julho de 2017)
- Alphabet (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/alphabet/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- Aluminium Association (2018).** Disponível em: <http://www.aluminum.org/industries> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- ALVARENGA, Darlan (2013).** *Monopólio brasileiro do nióbio gera cobiça mundial, controvérsia e mitos*. G1, Economia, Negócios. São Paulo. Globo.com, 9 de abril de 2013. Disponível em: http://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/2013/04/monopolio-brasileiro-do-niobio-gera-cobica-mundial-controversia-e-mitos.html?fb_action_ids=437803089642924&fb_action_types=og.recommends&fb_source=other_multiline&action_object_map=%7B%22437803089642924%22%3A594292470582777%7D&action_type_map=%7B%22437803089642924%22%3A%22og.recommends%22%7D&action_ref_map=%5B%5D (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- Amazon (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/amazon/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- Amazon (2018).** *Amazon Go*. Disponível em: <https://www.amazon.com/b?node=16008589011> (Acedido a 25 de Janeiro de 2008)
- AMERASEKERA, Ajith (2013).** *The promise of the Internet of Things: Proliferating nodes*. Texas Instruments. Disponível em: https://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire/archive/2013/12/13/the-promise-of-the-internet-of-things-proliferating-sensor-nodes (Acedido a 4 de maio de 2016)
- American Cancer Society (2017).** *Talcum Powder and Cancer. What is Talcum powder?* ACS - American Cancer Society. Disponível em: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/talcum-powder-and-cancer.html> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- ANDERSON, C. Schuyler (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Bismuth*, pp.36-37, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- ANDERSON, C. Schuyler (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Tin*, pp.174-175, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)
- ANDERSON, C. Schuyler (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Indium*, pp.78-79, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)
- ANDERSON, C. Schuyler (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Selenium*, pp.146-147, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)

- ANDERSON, C. Schuyler (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Telurium*, pp.166-167, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF) Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 22 de fevereiro de 2018)
- ANDERSON, C. Schuyler (2018d). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Tin*, pp.172-173, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF) Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)
- ANDERSON, Chris (2008). *Free! Why \$0.00 Is the Future of Business*. Wired Bussiness Disponível em: <https://www.wired.com/2008/02/ff-free/?currentPage=all> (Acedido a 3 de janeiro de 2015)
- ANDERSON, Robert S. and ANDERSON, Suzanne P. (2010). *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes*. Cambridge University Press. p. 187.
- ANDERSSON, M.; LJUNGGREN, Söderman, M. and SANDEN, B.A (2014). *Scarce metals in Swedish end-of-life vehicle recycling*. In SUM, Symposium on Urban Mining, 2; 1-21; SUM, Symposium on Urban Mining, 2 von Eurowaste, Bergamo, IT, May 16-21, 2014. Disponível em: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/tema%3ATEMA20141207038/Scarce-metals-in-Swedish-end-of-life-vehicle-recycling/> (Acedido a 16 de fevereiro de 2018)
- ANDRÉ, Mário Rui (2017). *Nokia 8: vários “amigos” juntaram-se para fazer o smartphone perfeito*. Shifter. Design finlandês, Android puro, áudio 360°, duas câmaras especiais e 600 euros. Disponível em: <https://shifter.pt/2017/09/nokia-8-smartphone-perfeito/> (Acedido a 12 de novembro de 2017)
- ANDREESSEN, Marc; HOROWITZ, Ben; KUPOR, Scott and CHOKSKI, Sonal (2016). *A16z Podcast: Software Programs the World*, Andreessen Horowitz. Disponível em: <https://a16z.com/2016/07/10/software-programs-the-world/> (Acedido a 9 de fevereiro de 2018)
- ANEJA, Urvashi (2018). *Why a digital India needs to embrace the circular economy*. Digital Economy and Society | India, WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/why-a-digital-india-needs-to-embrace-the-circular-economy> (Acedido a 5 de março de 2018)
- ANTÓNIO, Francisco (2017). *Elétricos em risco devido à falta de matérias*. Disponível em: <http://observador.pt/2017/11/27/electricos-em-risco-devido-a-falta-de-materias/> (Acedido a 27 de Janeiro de 2018)
- APA (2017). *Guia de classificação de resíduos*. Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Versão: 1.1, Data: 23/10/2017 (PDF). Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Classificacao/Guia%20de%20Classificacao%20de%20resduos_20171023.pdf (Acedido a 3 de janeiro de 2018)
- APODACA, Lori E. (2012). *Mineral Commodity Summaries 2012 - Sulfur*, pp.158-159, U.S. Geological Survey, January 2012, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur/mcs-2012-sulfur.pdf> (Acedido a 2 de novembro de 2017)
- APODACA, Lori E. (2017). *Mineral Commodity Summaries - Sulfur*, pp.162-163 U.S. Geological Survey, January 2012, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 20 de outubro de 2017)
- Apple (2012). *Apple apresenta Iphone5*, Newsroom, Comunicado da imprensa, Setembro 12, 2012, Apple. Disponível em: <https://www.apple.com/pt/newsroom/2012/09/12Apple-Introduces-iPhone-5/> (Acedido a 29 de janeiro de 2018)
- Apple (2017a). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/apple/> (Acedido a 24 de dezembro de 2017)
- Apple (2017b). *iPhone 7*. Disponível em: <https://www.apple.com/pt/iphone-7/specs/> (Acedido a 23 de janeiro de 2017)
- Apple (2018). *Hey Siri, wake me up at 7 AM tomorrow*. Disponível em: <https://www.apple.com/ios/siri/> (Acedido a 2 de janeiro de 2018)
- Apple Environmental (2018). *How do we make sure our products stay safe for people and the planet? Safer Materials* Disponível: <https://www.apple.com/environment/safer-materials/> (Acedido a 24 de Fevereiro de 2018)
- ARBIB, James and SEBA, Tony (2017). *Rethink Disruption, Implications and Choices*. The Disruption of Transportation and the Collapse of the Internal-Combustion Vehicle and Oil Industries. May 2017 (PDF). Disponível em: https://static1.squarespace.com/static/585c3439be65942f022bbf9b/t/591a2e4be6f2e1c13df930c5/1494888038959/RethinkX+Report_051517.pdf (Acedido a 3 de janeiro 2018)
- Arcelor Mittal (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/arcelormittal/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Argonne ([s.d.]). *Batteries and Energy Storage*, Argonne National Laboratory. Disponível em: <https://www.anl.gov/energy/batteries-and-energy-storage> (Acedido a 26 de janeiro de 2018)

- ARM (2018a).** Disponível em: <https://www.arm.com> (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- ARM (2018b).** *Arm's Project Trillium*. Disponível em: <https://www.arm.com/products/processors/machine-learning> (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- ARM Developer (2018).** *Arm Machine Learning Processor*. Disponível em: <https://developer.arm.com/products/processors/machine-learning/arm-ml-processor> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- ARMBRECHT, Arwen (2015).** *China is still king of commodity consumption*. China | Mining and Metals | World Economic Forum, September 02, 2015. Disponível em: https://agenda.weforum.org/2015/09/china-king-of-commodity-consumption/?utm_content=bufferd9068&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 12 julho de 2017)
- ARNOLD, J.R.T (1999).** *Administração de Materiais*. São Paulo: Ed. Atlas.
- ARTHUR, Charles (2011).** *Nortel patents sold for \$4,5bn*. The Gardian. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2011/jul/01/nortel-patents-sold-apple-sony-microsoft> (Acedido a 12 de fevereiro de 2016)
- ARTHUR, W. Brian (2011).** *The second economy*. McKinsey Quarterly, October 2011 Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/the-second-economy> (Acedido a 26 de Maio de 2017)
- ARTHUR, W. Brian (2017).** *Where is technology taking the economy?* McKinsey Quarterly, October, 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/where-is-technology-taking-the-economy> (Acedido a 13 Novembro de 2017)
- ASAE (2018).** *Riscos Químicos*, Autoridade de segurança alimentar e Económica, República Portuguesa. Disponível em : <http://www.asae.gov.pt/pagina.aspx?f=1&js=0&codigono=596059636142AAAA&aberto=0> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- Asbestos removal now (2017).** *Timeline of asbestos bans*. Disponível em: <http://asbestosremovalnow.com/asbestos-banning-timeline/> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- ASC/USC (2007).** Annenberg School of Communication, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, USA; United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC).
- ASH, Russell (2005).** *The Top 10 of Everything 2006: The Ultimate Book of Lists*. Dk Pub. ISBN 0756 613213.
- ASHTON, Kevin (2009).** *That "Internet of Things". Thing In the real world, things matter more than ideas*. RFID Journal. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- ASM (2000).** *Nickel, Cobalt, and their Alloys*. AMS Specialty Handbook, Edited by J. R. Davis, Davis & Associates. Disponível em: http://dl.iran-mavad.com/pdf95/Nickel.Cobalt%20%20Their%20Alloys_iran-mavad.com.pdf (Acedido a 19 de dezembro de 2017)
- ASTM International (2013).** *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. Designation: F2792 –12^a. West Conshohocken, PA 19428-2959. United States. Disponível em: <http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf> (Acedido a 13 de Maio de 2017)
- ATSDR (2012).** *Toxicological Profile for Vanadium*, U.S. Department of Health and human services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- ATSDR (2017a).** *Asbestos*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 1332-21-4 Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=4> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- ATSDR (2017b).** *Boron*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7440-42-8. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=80> (Acedido a 19 de dezembro de 2017)
- ATSDR (2017c).** *Cobalt*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7440-48-4. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=64> (Acedido a 19 de dezembro de 2017)
- ATSDR (2017d).** *Selenium, Health effects. Public Health Statement: Health Effects* (PDF). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp92-c3.pdf> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- ATSDR (2017e).** *Selenium*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7782-49-2. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=28> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)

- ATSDR (2018a).** *Aluminum*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7429-90-5. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=34> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- ATSDR (2018b).** *Beryllium*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7440-41-7. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=33> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- ATSDR (2018c).** *Cadmium*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7440-43-9. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=15> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- ATSDR (2018d).** *Silver*. Agency for Toxic Substances & Disease Registry, Atlanta. CAS ID #: 7440-22-4. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=97> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- Austin Health and Clinical (2017).** Disponível em: <http://www.austin.org.au/unimelbclinicalschoo>; (Acedido a 10 de novembro de 2017)
- AUSUBEL, J.H. and SLADOVICH, H.E. (1990).** *Dematerialization*. *Tecnological Forecasting & Social Change*, 37, 333-348.
- AUSUBEL, J.H. and WAGGONER, P.E. (2008).** *Dematerialization: Variety, caution and persistence*. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 105, 12774-12779.
- AZO Materials (2001).** *Molybdenum (Mo) - Properties, Applications*. AZoM.com Pty. Limited, 2007. Disponível em: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=616> (Acedido a 15 de junho de 2017).
- AZO Materials (2002).** *Platinum applications*. Written by AZoM, April 3, 2002. Disponível em: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1344> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- AZO Materials (2017).** *Gold - Applications and Developments in the Electronics, Biomaterials and Catalysis*. Disponível em: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1899> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- AZO Materials (2018).** *Materials Information*. Disponível em <https://www.azom.com/materials.aspx> (Acedido a 1 de janeiro de 2018)
- BARBALACE, Kenneth (2018).** *Periodic Table of Elements*. Disponível em: <https://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/> (Acedido a 2 de março de 2018)
- BARBOSA, Elisabete (2001).** *Interactividade: A grande promessa do jornalismo online*. Universidade do Minho. Disponível em: <http://www.bocc.ubi.pt/pag/barbosa-elisabete-interactividade.html> (Acedido a 3 de outubro de 2012)
- BARCELOUX, Donald G. and BARCELOUX, Donald (1999).** *Molybdenum*. *Clinical Toxicology*. 37 (2): 231-237. PMID 10382558. doi:10.1081/CLT-100102422
- BARRERA-OSORIO, Felipe and LINDEN, Leigh L. (2009).** *The use and Misuse of computers in Education: Evidence from a Randomized Controlled Trial of a Language Arts Program*. March 2009. Disponível em: http://www.leighlinden.com/Barrera-Linden%20Computadores_2009-03-25.pdf (Acedido a 6 de fevereiro de 2018)
- BAUMERS, M.; TUCK C.; WILDMAN, R.; ASHCROFT, I., ROSAMOND E. and HAGUE R. (2012).** *Combined Build-Time, Energy Consumption and Cost Estimation for Direct Metal Laser Sintering*. From, *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium*. The University of Texas at Austin. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.476.5195&rep=rep1&type=pdf> (Acedido a 15 de agosto de 2017)
- BÄUML, Manuel and HAUSMANN, Ludwig (2018).** *Air-freight forwarders move forward into a digital future*, February, 2018, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/air-freight-forwarders-move-forward-into-a-digital-future?cid=other-eml-alt-mip-mck-oth-1802&hlkid=f4401113d3b6401d8a032e12133950dc&hctky=10211390&hdpid=ad63b0e5-ecce-4987-b1d4-76e555b18e2c> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- BBC (2016).** *World-Changing Ideas Summit*. BBC Future, 15th November 2016 - Dockside, Pavilion, Sydney. Disponível em: <http://www.bbc.com/storyworks/future/world-changing-ideas/summit-sydney-2016> (29 de janeiro de 2018)
- BBC NEWS (2012).** *Digital music Sales outstrip CDS and records*, May 31, 2012. | Entertainment & Arts. <http://www.bbc.com/news/entertainment-arts-18278037> (Acedido a 14 de Outubro de 2016)
- BEALE, Charlotte (2017).** *The price of this element has surged in 2017*. WEF, 21 Dec 2017. Environment and Natural Resource Security, Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/12/cobalt-surged-2017-lithium-ion-batteries-electric-vehicles/> (Acedido a 22 de janeiro de 2017)

- BEDINGER, George M, (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Zirconium and Hafnium*, pp. 194-195, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 11 de novembro de 2017).
- BEDINGER, George M, (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Titanium and Titanium oxide*, pp. 174-175, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- BEDINGER, George M, (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Zirconium and Hafnium*, pp. 192-193, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- BEDINGER, George M. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Titanium Mineral Concentrates*, pp.178-179, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/mcs-2017-timin.pdf> (Acedido a 8 de janeiro de 2018).
- BENHAM, A.J and BROWN, T.J. (2007).** *Africa Mineral Production 2001-2005 - A product of the world mineral Statistics*. Technical support: MacKENZIE, A.C., IDOINE, N. E. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1390> /Acedido e, 19 de dezembro de 2017).
- BENNETT, Shawna M. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Perlite* pp. 122-123, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 8 de janeiro de 2018)
- BENNETT, Shawna M. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Silver*, pp. 152-153, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- BENNETT, Shawna M. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Perlite*, pp. 120-121, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- BENNETT, Shawna M. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Silver*, pp. 150-151, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- BENNETT, Shawna M. (2018c).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Thallium*, pp. 168-169, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- BERGER, Roland (2014).** *Industrie 4.0 - The new revolution how Europe will succeed*. Disponível em: https://www.rolandberger.com/en/Publications/pub_industry_4_0_the_ne_industrial_revolution.htm (Acedido a 4 dezembro de 2017)
- BERGER, Roland (2016).** *Think Act. Beyond Mainstream. Radically digital, Shaping the digital transformation: Questions top managers should be asking today*, RBI - Roland Berger Institute, Roland Berger GmbH. Disponível em: https://www.roland_berger_tab_radically_digital_2_0160121.pdf (Acedido a 2 agosto de 2017)
- BERGER, Suzanne (2013).** *Making in America from Innovation to Market*. eBook: ISBN: 9780262316828 Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/books/making-america> (Acedido a 11 junho de 2017)
- Berkshire Hathaway (2017).** *The world's biggest Public Companies*. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/berkshire-hathaway/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- BERNARDINI, Oliviero and GALLI, Riccardo (1993).** *Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy*. *Futures*, 25. 432-488. 10.1016/0016-3287(93)90005-E.
- BERSHIDSKY, Leonid (2017a).** *BMW as the next Nokia? Nonsense*. Bloomberg View. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-08-03/bmw-as-the-next-nokia-nonsense> (Acedido a 2 de outubro de 2017).
- BERSHIDSKY, Leonid (2017b).** *Facebook Plans to Rewire Your Life. Be Afraid*. Opinion, Tech, Bloomberg view. Disponível em: https://www.bloomberg.com/view/articles/2017-02-17/mark-zuckerberg-s-manifesto-for-facebook-offers-a-social-dystopia?cmpid=socialflow-facebook-view&utm_content=view&utm_campaign=socialfloworganic&utm_source=facebook&utm_medium=social (Acedido a 12 outubro de 2017)
- BERTONCELLO, Michele; CAMPLONE, Gianluca; GAO, Paul; KAAS, Hans-Werner; MOHR, Detlev; MöLLER, Timo and WEE, DOMINIK (2016).** *Monetizing car data. New service business opportunities to create new customer benefits*, September 2016, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Monetizing%20car%20data/Monetizing-car-data.ashx> (Acedido a 15 de outubro de 2016)

- BGS (2016).** Minerals UK. Disponível em: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/home.html> (Acedido a 14 de Agosto de 2017)
- BHP Bilitone (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/bhp-billiton/> (Acedido a 26 de novembro de 2017)
- BIBA, Erin (2017).** *The jet engines with 'digital twins'*. February 14, 2017. Autos | BBC. Disponível em: <http://www.bbc.com/autos/story/20170214-how-jet-engines-are-made> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- BICHENO, Scott (2017).** *Huawei 2016 numbers reveal the extent of Ericsson, Nokia and ZTE's challenge*. March, 31, 2017. Telecoms.com. Disponível em: <http://telecoms.com/481009/huawei-2016-numbers-reveal-the-extent-of-ericsson-nokia-and-ztes-challenge/> (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- BIR (2007).** *Information about Recycling*. Bureau of International Recycling. WaybakMachine, Disponível em: <https://web.archive.org/web/20070927175746/http://www.bir.org/aboutrecycling/index.asp> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- BIRD, Mike (2015).** *How global debt has changed since the financial crisis: Future of Economic Progress*, World Economic Forum. Disponível em: https://agenda.weforum.org/2015/10/how-global-debt-has-changed-since-the-financial-crisis/?utm_content=buffer5362 (Acedido a 4 de agosto de 2016).
- Bitkom (2017).** Berlin. Disponível em: www.bitkom.org (Acedido a 16 junho de 2017)
- Bla (2018).** *Lime*. Health and safety, Brithish Lime Association. Disponível em: http://www.britishlime.org/education/lime_cycle.php#level01 (Acedido a 8 de fevereiro de 2018)
- Blacksocks (2017).** Disponível em: <https://www.blacksocks.com/ch/en/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- BMVIT (2017).** *Horizon 2020 - EU Programme for research and innovation*. Disponível em: https://www.bmvit.gv.at/en/innovation/international_eu/horizon_2020.html (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- BMW Group (2017a).** Disponível em: <http://www.bmwgroup.com> (Acedido a 14 de setembro de 2017).
- BMW Group (2017b).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/bmw-group/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- BNE (2012).** Biblioteca Nacional de Espanha. Disponível em: <http://www.bne.es> (Acedido a 3 de setembro de 2012)
- BOCHOVE, Danielle (2017).** *The Canadian Ghost Town That Tesla Is Bringing Back to Life - Renewed demand for cobalt, the metal, is breathing new life into Cobalt, the town*. Bloomberg. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-10-31/the-canadian-ghost-town-that-tesla-is-bringing-back-to-life> (Acedido a 19 de dezembro de 2017)
- BOHN, R. and SHORT J. (2009).** *How Much Information? 2009. Report on American Consumers*. Research Gate, Global Information Industry Center of University of California, San Diego, San Diego, CA, 2009). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242562463_How_Much_Information_2009_Report_on_American_Consumers (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- BOL (2017).** *Custava R\$ 31 mil: como era primeiro celular do mundo*, UOL, S. Paulo. Portal de Notícias BOL. Disponível em: <https://noticias.bol.uol.com.br/ultimas-noticias/tecnologia/2017/06/30/custava-r-13-mil-como-era-primeiro-celular-do-mundo.htm> (Acedido a 28 de janeiro de 2018).
- BOLEN, Wallace P. (2011).** *2009 Minerals Yearbook, Perlite [Advance Release]* U.S. Geological Survey, abril 2011 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/perlite/myb1-2009-perli.pdf> (Acedido a 25 de julho de 2017).
- BOLEN, Wallace P. (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Salt*, pp.140-141 U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- BOLITHO, Tom; SANDERS, Benjamin and ZAHRA, Daniel (2011).** *The positive and negative Implications of Emerging Mobile Technologies*. University of Plymouth, Plymouth, UK. Disponível em: (<https://www.cscan.org/download/?id=723/> (Acedido a 12 de agosto de 2017); https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=3NzOAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA119&dq=The+positive+and+negative+Implications+of+Emerging+Mobile+Technologies.&ots=N4yWo9jAKh&sig=_bTV5ewXtiY0drHQhRzrhJk0bco&redir_esc=y#v=onepage&q=The%20positive%20and%20negative%20Implications%20of%20Emergin%20Mobile%20Technologies.&f=false (Acedido a 1 de Janeiro de 2018)
- BONTRON, Cécile (2012).** *Rare-earth mining in China comes at a heavy cost for local villages*, Mining | Pollution, The Guardian, 7 Aug 2012 13.59 BST. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2012/aug/07/china-rare-earth-village-pollution> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)

- BORDONALI, Corrado; FERRARESI, Simone and RICHTER, Wolf (2017).** *Shifting gears in cybersecurity for connected cars*. April 2017 McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/shifting-gears-in-cybersecurity-for-connected-cars> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- BOUMA, Rob (2005).** Falconbridge Ltd, Written and oral communis, (2005). Citado em SULLIVAN, Daniel E. (2006). Recycled cell phones - a Treasure trove of Valuable metals. Us. Department of the Interior and U.S. Geological Survey (USGS), Fact Sheet 2006 - 3097, july 2006. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2006/3097/fs2006-3097.pdf> (Acedido a 21 de maio de 2016).
- BOURELL, David; KRUTH, Jean Pierre; LEU, Ming; LEVY, Gideon; ROSEN, David; BEESE, Allison M. and CLARE, Adam (2017).** Materials for additive manufacturing. CIRP Annals, Volume 66, Issue 2, 2017, Pages 659-681, Elsevier. Disponível em: <http://www.science direct.com/science/article/pii/S0007850617301488> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- BPMN (2017).** OMG - *Object Management Group, Business Process Model and Notation*. Disponível em: <http://www.bpmn.org> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- BRADLEY, David; RUSSELL, David; FERGUSON, Ian; ISAACS, John; MacLEOD, Allan and WHITE, Roger (2015).** *The Internet of Things – The future or the end of mechatronics*. Mechatronics, Volume 27, April 2015, Pages 57-74. Disponível em: <http://www.science direct. com/science/article/pii/S0957415815000215> (Acedido a 9 dezembro de 2017)
- BRAY, E. Lee (2012).** *Mineral Commodity Summaries - Bauxite and Alumina*. pp. 27-28, U.S. Geological Survey, january 2012, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite/mcs-2012-bauxi.pdf> (Acedido a 21 de dezembro de 2017).
- BRAY, E. Lee (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 -_Aluminum*, pp.22-23, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- BRAY, E. Lee (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 -_Bauxite and Alumina*, pp. 32-33, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de dezembro de 2017).
- BRAY, E. Lee (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 -_Bauxite and Alumina*, pp. 30-31, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018)
- BRAY, E. Lee (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 -_Magnesium*, pp. 30-31, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018)
- BRININSTOOL, Mark (2017a).** *Arsenic Statistics and Information*. Minerals information, U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/arsenic/> (Acedido a 14 de janeiro de 2018)
- BRININSTOOL, Mark (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 -_Copper*, pp.54-55, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- BRIOCHE, Amanda S. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 -_Wollastonite*, pp. 184-185, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de janeiro de 2018)
- BRISKEY, Joseph A. (2005).** *Indium in zinc-lead and other mineral deposits - A Reconnaissance Survey of 1118 Indium Analyses Published before 1985*. Open -File Report 2005-1209 (PDF). USGS, U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2005/1209/2005-1209.pdf> (Acedido a 23 agosto de 2017)
- British Geological Survey (2005).** *Africa Mineral Production 2001-2005 - A product of the world mineral Statistics Database*. Keyworth, Nottingham, BGS - British Geological Survey. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1390> (Acedido a 19 de dezembro de 2017)
- BRIZENDINE, Jamison K. (2017).** *Fluorite. Other information*. Mindat.org. Disponível em: <https://www.mindat.org/min-1576.html> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- BROOKES, L.G. (1984).** *Long-term equilibrium effects of constraints in energy suply*. In L. Brookes & H. Motamen (Eds.) *The Economics of Nuclear Energy*. London: Chapman and Hall.
- BROOKES, L.G. (2000).** *Energy efficiency fallacies revisited*. Energy Policy, 28, 6-7.

- BRUMFIELD, Ben (2015).** *Diamonds, move over: Scientists make harder, brighter Q-carbon*. CNN Space & Science, december 3, 2015. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2015/12/01/tech/super-diamond-q-carbon-scientists-laser/index.html> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- BRYNJOLFSSON, Erik and McAfee, Andrew (2014).** *The second machine age - Work, Progress and Prosperity in a time of brilliant Technologies*. By W. W. Norton Company, New York.
- BUCHANAN, M. (2016).** *Humanity's race against itself*. Bloomberg View (February 16).
- BUGHIN, Jacques; HAZAN, Eric; RAMASWAMY, Sree; CHUI, Michael; ALLAS, Tera; DAHLSTROM, Peter and TRENCH, Monica (2017).** *How artificial intelligence can deliver real value to companies*. McKinsey Global Institute, june 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/how-artificial-intelligence-can-deliver-real-value-to-companies> (Acedido a 7 de fevereiro de 2018)
- BURCKACKY, Ondrej; DEICHMANN, Johannes; DOLL Georg and KNOCHENHAUER, Christian (2018).** *Rethinking car software and electronics architecture*, February 2018, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/rethinking-car-software-and-electronics-architecture?cid=other-eml-alt-mip-mck-oth-1802&hlkid=3528b35f90534d5ebab2c95991e7d393&hctky=10211390&hdpid=e230703c-2b2f-4969-8374-5c7ad083625e> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- Bureau of Labor Statistics (2017).** United States Department of Labor (BLS). *State Employment and Unemployment*. UDL-17-1668. Disponível em: <https://www.bls.gov>; <https://www.bls.gov/news.release/pdf/laus.pdf> (Acedido a 26 de maio de 2016)
- BURKE, Gerald L. (1940).** *The Corrosion of Metals in Tissues; and An Introduction to Tantalum*. Canadian Medical Association Journal, 43.
- BUSHNELL, Mona (2018).** *AI Faceoff: Siri vs. Cortana vs. Google Assistant vs. Alexa*. Business News Daily, january 8, 2018. Disponível em: <https://www.businessnewsdaily.com/10315-siri-cortana-google-assistant-amazon-alexa-face-off.html> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- BUTTERMAN, Eric (2014).** *Additive Manufacturing Marches On*. ASME Disponível em <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/manufacturing-processing/additive-manufacturing-marches-on> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- BUTTERNAN, C. and CARLIN, Jr., J. F. (2003).** *Mineral Commodity Profiles: Antimony*, U.S. Geological Survey (PDF). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-019/of03-019.pdf> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- CALLOCH, Valérie (2017).** *Le client est au coeur de l'usine du futur de Renault*. Innovation, Groupe Renault. Disponível em: <https://group.renault.com/actualites/blog-renault/le-client-est-au-coeur-de-lusine-du-futur-de-renault/> (Acedido a 1 de agosto de 2017)
- CALVERT, J. B. (2002).** *Boron*. University of Denver. Disponível em: <http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/boron.htm> (Acedido a 8 de fevereiro de 2018)
- CARDOSO, Gustavo; MENDONÇA, Sandro; QUINTANILHA, Tiago Lima; PAISANA, Miguel; PAIS, Pedro Caldeira (2017).** *A imprensa em Portugal - Desempenho e indicadores de gestão (20018-2016)*. Relatório Obercom, Julho 2017, (PDF). ISSN 2182-6722, Obercom. Disponível em: <https://obercom.pt/wp-content/uploads/2017/09/2017-OBERCOM-imprensa-PT.pdf> (Acedido a 11 de janeiro de 2018)
- CARPENTER, Guy (2014).** *Ahead of the Curve: Understanding Emerging Risks*. Emerging Risks Report, Set 2014. Guy Carpenter, Marsh & McLennan Companies. Disponível em: <https://www.mmc.com/content/dam/mmc-web/Files/AheadoftheCurve-UnderstandingEmergingRisks.pdf> (Acedido a 12 de agosto de 2017)
- CARTHY, John Mc (2016).** *Who coined the term in 1955, defines it as "Artificial Intelligence"*, 3 de maio, 2016. Prezi. Disponível em: <https://prezi.com/zrj4iolmrzs7/john-mccarthy-who-coined-the-term-in-1955-defines-it-as-quot/> (Acedido a 7 de maio de 2017)
- CASTELLS, Manuel (2011).** *A Sociedade em Rede, 4ª Edição*. Lisboa : Fundação Calouste de Gulbenkian.
- CASTELLS, Manuel (2011).** *The rise of the network society: The information age*. Economy, society, and culture. Vols. 1, Wiley-Blackwell.
- CAVALCANTE, Patrícia Maria T.; BALTAR, Carlos Adolpho M. e SAMPAIO, João A. (2005).** *Mica*. Rochas Minerais Industriais - CETEM/2005 Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1091/1/25.MICA%20ok.pdf> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- CBInsights (2017).** *The World's 197 Unicorn Companies In One Infographic Valuations*. Disponível em: https://www.cbinsights.com/research/unicorn-startup-market-map/?utm_source=CB+Insights+News

- letter&utm_campaign=709a5bcdbfWedNL_1_18_2017&utm_medium=email&utm_term=0_9dc0513989-709a5bcdbf-88375421 (Acedido a 8 de agosto de 2017)
- CDC (2015).** *CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Graphite (natural)*. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0306.html> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- CDC (2015a).** *CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Graphite (natural)*. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0306.html> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- CDC (2015b).** *CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Mica (containing less than 1% quartz)*. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0431.html> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- CDC (2016a).** *CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Tin*. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0613.html> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)
- CDC (2016b).** *Pocket Guide to Chemical Hazards - Tantalum (metal and oxide dust, as Ta)*. CDC - Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0585.html> (Acedido a 9 de janeiro de 2018)
- CDS (2017).** *Bromine. Pocket Guide to Chemical Hazards #0064*. CDS - Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0064.html> (Acedido a 28 de Dezembro de 2018)
- CE. Environmental (2016).** Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive). Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/> (Acedido a 16 de fevereiro de 2018)
- CE. Fiscalidade e União Aduaneira (2012).** *Poeiras e nanopartículas*. Comissão europeia. Saúde e segurança. Disponível em: http://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/PT/Safety/Dust_PT.htm (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- CÉBRIAN, Juan L. (1999).** *A Rede: Como nossas vidas serão transformadas pelos novos meios de Comunicação*. p. 17, Summus, São Paulo.
- CÉLÉRIER, Pierre (1969).** *Geopolitique et Geostrategie*. Presses universitaires de France, Coleção “Que sais-je?”, 3ª edição 1969, pag 16-17.
- Celipa (2018).** Associação da indústria papelreira. Disponível em: <http://www.celipa.pt/historia-do-papel/> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- Center for International Communication (2017a).** *CIC*, Ministry of Culture and Information, Saudi Arabia. Disponível em: <https://cic.org.sa/2017/10/saudi-arabia-is-first-country-in-the-world-to-grant-a-robot-citizenship/> (Acedido a 1 de Janeiro de 2018)
- Center for International Communication (2017b).** Saudi Arabia is first country in the world to Grant a robot citizenship. October 26, 2017. Disponível em: <https://cic.org.sa/2017/10/saudi-arabia-is-first-country-in-the-world-to-grant-a-robot-citizenship/> (Acedido a 11 de Dezembro de 2017)
- CHANDLER Jr, Alfred D. with the assistance of HIKINO, Takashi (1990).** *The Dynamics of Industrial Capitalism*. Belknap (Harvard University Press), Cambridge, MA, 1990. xx, 860 pp. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/248/4963/1667> (Acedido a 24 de maio de 2017)
- CHANG, Raymond (1994).** *Química*, 5ª edição, Editora McGraw-Hill, Lisboa, 1994
- CHASE, Robin (2016).** *Self-driving cars will improve our cities. If they don't ruin them*. Wired. Disponível em: <https://www.wired.com/2016/08/self-driving-cars-will-improve-our-cities-if-they-dont-ruin-the-m/#.btnjp3wl9> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- CHAVES, Davina Camelo; RODRIGUES, Makson Rangel de Melo; SILVA, Estefânio de Paiva e PINTO, Jonatha Marcelles Aguiar (2010).** *Riscos Toxicológicos no nanuseio de Cimento na atividade informal do Município de Zé Doca/Ma*. Disponível em: <http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/823/561> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- CHEN, Danfang; HEYER, Steffen; IBBOTSON, Suphunnika; SALONITIS, Konstantinos; STEINGRIMSSON, Jón Garðar and THIEDE, Sebastian (2015).** *Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications*. Journal of Cleaner Production, Volume 107, 16 November 2015, Pages 615-625, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005429> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- CHEN, Wei-Qiang and GRAEDEL, T. E. (2015).** *In-use product stocks link manufactured capital to natural capital*. PNAS 2015 May, 112 (20) 6265-6270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406866112>. PNAS. Edited by William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA, and approved February 10, 2015 (received for review April 16, 2014). Disponível em: <http://www.pnas.org/content/112/20/6265.full> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)

- CHEN, Wen; GOUMA, Reitze; LOS, Bart and TIMMER, Marcel ([s.d.]). *Measuring the Income to Intangibles in Goods Production: a Global Value Chain Approach*. Disponível em: <http://www.iariw.org/copenhagen/chen-abs.pdf> (Acedido a 10 de janeiro de 2018)
- Chetan Sharma (2016). *Mobile Patents Landscape 2016*. Insights | Papers. Disponível em: <http://www.chetansharma.com/publications/mobile-patents-landscape-2016/> (Acedido a 13 de março de 2017)
- China Shenhua Energy (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/china-shenhua-energy/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Cincinnati (2017) *Additive Manufacturing*. Disponível em: (<https://www.e-ci.com/additive-manufacturing/>) (Acedido a 25 de novembro de 2017).
- Circulars. Org (2017). *About the Circulars*. World Economic Forum Disponível em: <https://thecirculars.org/> (Acedido a 11 de Julho de 2017)
- Cisco (2015). *VNI Global Fixed and Mobile Internet Traffic Forecasts*. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html> (Acedido a 18 de maio de 2017)
- Cisco (2017a). *Securing the Internet of Things: A Proposed Framework*. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/security-center/secure-iot-proposed-framework.html> (Acedido a 9 de janeiro de 2018)
- Cisco (2017b). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021* White Paper. February 7, 2017. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html> (Acedido a 5 de outubro de 2017)
- Citic Pacific (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/citic-pacific/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Coal India (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/coal-india/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- COHEN, Adam; DORAN, Kevin, and CATARIOUS, Jr., David M. (2017). *Annual Report on the State of the Doe National Laboratories*, January 2017 U.S. Department of Energy, with significant contributions from Alison Markovitz and the members of the Laboratory Operations Board, Karen Gibson, Alfred Sattelberger, Vivian Sullivan, Patricia Falcone, Jack Anderson, Margaret Dick, David Keim, Kim Williams, Charles Russomanno, and Alison Doone. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2017/02/f34/DOE%20State%20of%20the%20National%20Labs%20Report%2002132017.pdf> (Acedido a 16 de janeiro de 2018)
- COLES-BLACK, Jasmine; CHAO, Ian and CHUEN, Jason (2017). *Three-dimensional printing in medicine*, MJA. Med J Aust 2017; 207 (3): 102-103. || doi: 10.5694/mja16.01073. Disponível em: <https://www.mja.com.au/journal/2017/207/3/three-dimensional-printing-in-medicine> (Acedido a 15 de outubro de 2017)
- Columbia Encyclopedia (2011). *Titanium*. Columbia Encyclopedia (6th ed.) in Wayback Machine New York: Columbia University Press. 2000-2006. ISBN 0-7876-5015-3. *Archived from the original on 18 November 2011*. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20111118151229/>; <http://www.answers.com/Titanium> (Acedido a 2 de abril de 2017).
- Comissão Europeia (2017). *The 2017 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Joint Research Center. Disponível em: <http://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard17.html> (Acedido a 3 de fevereiro de 2018)
- Comissão Europeia (2018). *Resíduos de materiais plásticos*. 16/01/2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/portugal/news/plastics-strategy_pt (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- Computerworld (2015). *Intel altera ritmo da Lei de Moore*, Navegação, Computerworld. Disponível em: <https://www.computerworld.com.pt/2015/07/17/intel-altera-ritmo-da-lei-de-moore/> (Acedido a 24 de maio de 2017).
- CONDLIFFE, Jamie (2018). *The company that made smartphones now wants to give them built in AI*. Davies, Jem in MIT Technology Review 2018. February 13, 2018. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/s/610182/the-company-that-made-smartphones-smart-now-wants-to-give-them-built-in-ai/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- Connect (2017). *Materials for Additive Manufacturing*. Disponível em: <https://connect.innovateuk.org/web/materials-for-additive-manufacturing> (Acedido a 29 de maio de 2017)

- CONNELLY, Neil. G.; DAMHU, Ture; HARTSHORN, Richard M. and HUTTON, Alan T. (2005). *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*. Disponível em: https://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red_Book_2005.pdf (Acedido em 18 de dezembro de 2017).
- CONSIDINE, Glenn D. (2005). *Molybdenum*. Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. New York: Wiley-Interscience. pp. 1038-1040. ISBN 978-0-471-61525-5
- Cooper Alliance (2017). *Electric Vehicles / Copper: Properties and Applications*. Copper Development Association Inc. Disponíveis em: <https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/electric-vehicles/>; and <http://copperalliance.org.uk/education-and-careers/education-resources/copper-properties-and-applications> (Acedido a 7 de Fevereiro de 2018)
- Copper Alliance (2018). *Closing the loop: Optimizing the copper life cycle for a Sustainable world*. Economy, CU Cooper Alliance. Disponível em: <http://sustainablecopper.org/en/home/economy/171-closing-the-loop-optimizing-the-copper-life-cycle-for-a-sustainable-world.html> (Acedido a 7 de dezembro de 2017)
- COPPOLA, Frances (2015). *How much debt should countries have?* World Economic Forum. Disponível em: https://agenda.weforum.org/2015/09/how-much-debt-should-countries-have/?utm_content=buffer4457&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 15 de junho de 2016).
- CORATHERS, Lisa A. (2017). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Lime*, pp.98-99, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lime/mcs-2017-lime.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- CORATHERS, Lisa A. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Lime*, pp.96-97, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs-2018.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- CORATHERS, Lisa A. (2018b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Manganese*, pp.104-105, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs-2018.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- CORRADO, Carol A. [s.d]. *Biography. The Conference Board*. Carol Corrado publications, Senior Advisor and Research Director, Economics Program, Disponível em: <https://www.conference-board.org/bio/index.cfm?bioid=518> (Acedido a 23 de Agosto de 2017)
- CORRADO, Carol A. and HULTEN, Charles R. (2010). *Measuring Intangible Capital, How Do You Measure a "Technological Revolution"?* <http://www.aeaweb.org/articles.php?doi=10.1257/aer.100.2.99> American Economic Review: Papers & Proceedings 100 (May 2010): 99-104. Disponível em: http://www.gcbpp.org/files/Academic_Papers/AP_Corrado_Measuring_052010AER.pdf (Acedido a 26 de Fevereiro de 2018)
- COSTA, L. C. A. and ROHLFS, D. B. (2010). *O mercúrio e suas consequências para a saúde*. Programa de Pós-Graduação em Biociências Forenses. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PDF). Disponível em: <http://www.cpgls.ucg.br/ArquivosUpload/1/File/V%20MOS%20TRA%20DE%20PRODUO%20CIENTIFICA/SAUDE/70.pdf>. (Acedido a 28 Dezembro de 2017)
- COTELL, Catherine Mary; SPRAGUE, J. A. and SMIDT, F. A. (1994). *ASM Handbook: Surface Engineering* (10th ed.). ASM International. p. 836. ISBN 0-87170-384-X.
- COUGHLAN, M. P. (1983). *The role of molybdenum in human biology*. Journal of Inherited Metabolic Disease. 6 (S1): 70-77. PMID 6312191. doi:10.1007/BF01811327
- COUTINHO, Luciano (1992). *A terceira revolução industrial e tecnológica: as grandes tendências de mudança*. Economia e Sociedade. Campinas. nº 1. Agosto, p.70.
- COWEN, Tyler (2011). *The great stagnation. How America ate all the low hanging fruit of modern history, got sick and will (eventually) fell better*. [ed.] Ethos Insights. Disponível em: <https://www.cscollge.gov.sg/Knowledge/Documents/CGLEI24%20The%20Great%20Stagnation.pdf> (Acedido a 18 de abril de 2015)
- COX P.M.; BETTS, R.A.; JONES, CD; SPALL, S.A. and TOTTERDELL, I.J. (2000). *Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model*". November 9, 2000. Nature. NCBI 408(6809):184-7. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11089968> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- CPA (2018). *Composite Panel Association*. Particleboard Manufacturers for Decorative Surfaces. Disponível em: <http://www.decorativesurfaces.org/products/particleboard.html/details/> (Acedido a 1 de março de 2018)

- CRANGLE Jr., Robert D. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Boron*, pp. 38-39, U.S. Geological Survey, January 2017, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- CRANGLE Jr., Robert D. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Gypsum*, pp.76-77, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- CRANGLE Jr., Robert D. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Boron*, pp. 36-37, U.S. Geological Survey, January 2018, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018)
- CRANGLE Jr., Robert D. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Diatomite*, pp. 56-57, U.S. Geological Survey, January 2018, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- CRANGLE Jr., Robert D. (2018c).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Gypsum*, pp. 74-75, U.S. Geological Survey, January 2018, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- CRANGLE Jr., Robert D. (2018d).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Pumice e Pumicite*, pp. 128-129, U.S. Geological Survey, January 2018, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- Credit Suisse (2016).** *Annual Report 2016, Credit Suisse Group AG & Credit Suisse AG*. Disponível em: <https://www.credit-suisse.com/media/assets/corporate/docs/about-us/investor-relations/financial-disclosures/financial-reports/csgag-csag-ar-2016-en.pdf> (Acedido a 1 de fevereiro de 2018)
- Crowdsourcing.org (2017).** *The Industry Website*. Disponível em: <http://reports.crowdsourcing.org> (Acedido a 23 de dezembro de 2017)
- Crunchbase (2017).** *Metaio*. Disponível em: <https://www.crunchbase.com/organization/metaio> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- CSAIL (2017).** *AI & Machine Learning*. MIT Computer Science & Artificial Intelligence Lab Disponível em: <https://www.csail.mit.edu> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- CURSON, M. E. J.; KUBOTA, J. and BIBBY, B. G. (1971).** *Environmental Effects of Molybdenum on Carrier* (PDF). Journal of Dental Research. 50 (1): 74-77. doi:10.1177/00220345710500013401
- DAEHN, G.S. (2014).** *Sustainable Design and Manufacture of Lightweight Vehicle Structures*, Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies; Folkson, R., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2014.
- DAGUILLARD, Robert (2014).** *EPA Makes Preliminary Determination to Regulate Strontium in Drinking Water* | By Date | Newsroom, October 20, 2014. Disponível em: <https://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/6427a6b7538955c585257359003f0230/327f339e63facb5a85257d77005f4bf9!OpenDocument> (Acedido a 27 julho de 2017)
- DAHMUS, J. (2014).** *Can efficiency improvements reduce resource consumption?* Journal of Industrial Ecology. 18 (6), 883-897.
- Daifuku Annual Report (2017).** *Value Innovation for the next stage* (year ended March '17) Daifuku, Co., Ltd. Disponível em: http://www.daifuku.com/ir/library/ar2017/pdf/daifuku_ar17_e.pdf (Acedido a 18 junho de 2017)
- Daimler (2017a).** *Autonomous concept car smart vision EQ fortwo: Welcome to the future of car sharing*. Disponível em: <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Autonomous-concept-car-smart-vision-EQ-fortwo-Welcome-to-the-future-of-car-sharing.xhtml?oid=29042725> (Acedido a 12 de dezembro de 2017)
- Daimler (2017b).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/daimler/> (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- DAMÁSIO, António (2009).** Grande entrevista com António Damásio, por Judite de Sousa. Informação - Entrevista e Debate (2009), RTP 1, Novembro de 2017.
- DANA, James Dwight; FORD, William Ebenezer (1915).** *Dana's Manual of Mineralogy for the Student of Elementary Mineralogy*. The Mining Engineer, the Geologist, the Prospector, the Collector, (13 ed.). John Wiley & Sons, Inc. pp. 299-300.
- DARLING, David (2016).** *Terrestrial abundance of elements*. Disponível em: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/E/elterr.html> (Acedido a 1 de março de 2018)

- DAUTH, Wolfgang; FINDEISEN, Sebastian; SÜDEKUM, Jens and WOESSNER, Nicole (2017).** *German Robots - The Impact of Industrial Robots on Worker*. International Trade and Regional Economics. Centre for Economic Policy Research. Disponível em: http://cepr.org/active/publications/discussion_papers/dp.php?dpno=12306 (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- DAVID, Paul A. (1990).** *The Dynamo and the Computer: An historical perspective on the modern productivity paradox*. EAE papers and proceedings, Economic Historic Technology. Vol.89 Nº2. Disponível em: https://eml.berkeley.edu/~bhall/e124/David90_dynamo.pdf (Acedido a 23 de Agosto de 2017).
- DEATON, Jamie Page (2009).** *How Automotive Production Lines Work*. 11 May 2009. HowStuffWorks.com. Disponível em: <https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/automotive-production-line.htm> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- DEDRICK, Jason and KRAEMER, Kenneth L. (2017).** *Intangible assets and value capture in global value chains: the smartphone industry*, Economic Research, Working Paper No. 41November 2017, WIPODisponível em: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_econstat_wp_41.pdf (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- DEDRICK, Jason; KRAEMER, Kenneth L. and LINDEN, Greg (2008).** *Who Profits from Innovation in Global Value Chains? A Study of the iPod and notebook PCs*. Industry Studies 2008, Alfred P. Sloan Foundation, May 1, 2008. Disponível em: http://web.mit.edu/is08/pdf/Dedrick_Kraemer_Linden.pdf (Acedido a 15 de junho de 2017)
- DeGARMO, E. Paul (1979).** *Materials and Processes in Manufacturing*, Published by Macmillan Library Reference (1979), 5th ed. New York. ISBN 10: 0023281200 ISBN 13: 9780023281204
- Deloitte (2015).** *Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies* (pdf). Zurich. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/pt/pt.html> (Acedido a 20 de maio de 2016)
- DEMING, David J. (2015).** *The Growing Importance of Social Skills in the Labor Market*. The Quarterly Journal of Economics, vol. 132(4), pages 1593-1640. Disponível em: http://scholar.harvard.edu/files/ddeming/files/deming_socialskills_august2015.pdf (Acedido a 22 de julho de 2017).
- DESERET News (2000).** *Cyanide spills from gold mine compared to Chernobyls nuclear disaster*. Deseretnews.com Published: February 14, 2000
- DESJARDINS, Jeff (2016a).** *What 's it made of? The iPhone 6S*. Visual Capitalist March 8, 2016. Disponível em: <http://www.visualcapitalist.com/extraordinary-raw-materials-iphone-6s/> (Acedido a 24 de Janeiro de 2017).
- DESJARDINS, Jeff (2017).** *A history of the battle for economic supremacy*. 15 Sep 2017, WEF - World Economic Forum. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/over-2000-years-of-economic-history-in-one-chart> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- DESJARDINS, Jeff, (2016b).** *Here are the raw materials we need to fuel the electric car boom*. Visual Capitalist, Oct. 27, 2016, Business Insider. Disponível em: <http://www.businessinsider.com/materials-needed-to-fuel-electric-car-boom-2016-10> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- Deutsche Welle (2014).** *Industry 4.0, machines take over factories*. DW. 6 Ulrich, K. 2014. Disponível em: <http://www.dw.de/in-industry-40-machines-take-over-factories/a-17357299> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- DEVEZAS, Tessaleno (2005).** *Evolutionary Theory of Technological Change: State-of-the-Art and New Approaches* Technological Forecasting and Social Change 72, pp. 1137-1152, December 2005. (special issue on New Horizons and Challenges for Future Oriented Technology Analysis).
- DEVEZAS, Tessaleno (2005).** *Evolutionary Theory of Technological Change: Discussion on Missing Points and Promising Approaches* IIASA IR-05-49 (20 pages),
- DEVEZAS, Tessaleno (2009).** *Notas de aula*. Disciplina de Inovação e Gestão Tecnológica, Curso MDIT, 2º ciclo de estudos. Covilhã: UBI - Universidade da Beira Interior.
- DEVEZAS, Tessaleno and CORREDINE, James T. (2001).** *The biological determinants of long-wave behavior in socioeconomic growth and development*, Elsevier Science Inc, Technological Forecasting and Social Change 68 (2001), pp. 1-57
- DEVEZAS, Tessaleno e RODRIGUES, Jorge Nascimento (2010).** *O Pioneiro da Globalização* Vila N. Famalicão, Edições Centro Atlântico, Portugal
- DEVEZAS, Tessaleno, VAZ, António and MAGEE, Christopher (2017).** *Global Pattern in Materials Consumption: An Empirical Study*, pp. 263-292. In DEVEZAS, Tessaleno; Leitão, João and Sarygulov,

- Industry 4.0. Entrepreneurship and Structural Change in the Digital Landscape, Springer ISBN 978-3-319-49603-0, DOI 10.1007/978-3-49604-7.
- DFKI [s.d]. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. Disponível em: https://www.dfki.de/web/intelligent-solutions-for-the-knowledge-society?set_language=en (Acedido a 12 junho de 2017)
- DGS (2018). *Amianto*. Direção-Geral da Saúde. Disponível em: <https://www.dgs.pt/saude-publica1/amianto.aspx> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- DIA, Hussein (2017). *This is how electric cars will transform our lives*, Environment, 10 Oct 2017, WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/10/three-ways-electric-vehicles-will-change-our-world> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- Die Bundeskanzlerin (2015). *Rede von Bundeskanzlerin Merkel anlässlich des Tags des deutschen Familienunternehmens am 12. June 2015*, Berlin. Disponível em: <http://www.bundeskanzlerin.de/Content/DE/Rede/2015/06/2015-06-15-merkelfamilienunternehmen.html> (Acedido a 7 maio de 2017)
- Digitalfire (2015a). *Molybdenum Compounds Toxicology*. Digitalfire.com, Reference Library, Hazards. Disponível em: https://digitalfire.com/4sight/hazards/ceramic_hazard_molybdenum_compounds_toxicology_332.html (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- Digitalfire (2015b). *Rutile Toxicology*. Digitalfire.com Reference Library, Hazards. https://digitalfire.com/4sight/hazards/ceramic_hazard_molybdenum_compounds_toxicology_332.html (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- Digitalfire (2017b). *Rare Earth Compounds Toxicity*. Reference Library. Disponível em: https://digitalfire.com/4sight/hazards/ceramic_hazard_rare_earth_compounds_toxicity_336.html (Acedido a 21 de dezembro de 2017).
- Digitalfire (2017c). *Zirconium Compounds Toxicity*. Reference Library. Disponível em: https://digitalfire.com/4sight/hazards/ceramic_hazard_zirconium_compounds_toxicity_373.html (Acedido a 14 de dezembro de 2017).
- DING, Zhen; YUAN, Chao; PENG, Xirui; WANG, Tiejun; QI, H. Jerry and DUNN, Martin L. (2017). *Direct 4D printing via active composite materials*. *Science Advances* 12 Apr 2017: Vol. 3, no. 4, e1602890, DOI: 10.1126/sciadv.1602890. Disponível em: <http://advances.sciencemag.org/content/3/4/e1602890> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- DOBBS, Richard; OPPENHEIM, Jeremy; THOMPSON, Fraser, BRINKMAN, Marcel and ZORNES, Marc (2011). *Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food and water needs*. McKinsey Global Institute. New York, November 2011. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/resource-revolution> (Acedido a 15 outubro de 2017)
- DOLLEY, Thomas P. (2010). *2008 Minerals Yearbook - Mica*. US. Geological Survey, October, 2010 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mica/myb1-2008-mica.pdf> html (Acedido a 1 de janeiro de 2018).
- DONOGHUE, A.M.; FRISCH, N. and OLNEY, D. (2014). *Bauxite mining and alumina refining: process description and occupational health risks*. *J Occup Environ Med*. 2014 May; 56(5 Suppl): S12-7.
- DORMEHL, Luke (2016). *This NASA-backed startup is building a 3D bioprinter that makes human organs in space*. Emerging Tech, Digital Trends. Disponível em: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/techshot-3d-bioprinter-in-space/> (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- DRZIK, John (2017). *Weaponized AI, digital espionage and other technology risks for 2017*. Future of Economic Progress/ Risk and Resilience/ Science and Technology. WEF - World Economic Forum. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2017/01/technology-risks-amplified-by-global-tensions?utm_content=buffera58b3&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 12 de agosto de 2017)
- DUTZIK, Tony and BAXANDALL, Phineas (2013). *A New Direction, Our changing Relationships with Driving and the implications for America's Future*. U.S.PIRG, Education Fund, Frontier Group. Disponível em: <https://uspirg.org/sites/pirg/files/reports/A%20New%20Direction%20vUS.pdf> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- EASME (2017). *Circular Economy*. European Commission, Executive Agency for SMEs. Disponível em: <https://ec.europa.eu/easme/en/tags/circular-economy> (Acedido a 25 de Julho de 2017)
- eBay (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/eBay/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- EC. Eurobarometer (2011). *Attitudes of Europeans towards resource efficiency*, Analytical report. Flash Eurobarometer. Flash EB N°316 European Commission, march 2011. Disponível em:

- (http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/flash/fl_316_en.pdf (Acedido a 17 outubro de 2017))
- EC.TRIMIS (2017).** *Advanced Driver Assistance Systems: From Introduction Scenarios towards a Code of Practice for Development and Testing*. Transport Research and Innovation Monitoring and Information System. Disponível em: <https://trimis.ec.europa.eu/project/advanced-driver-assistance-systems-introduction-scenarios-towards-code-practice-development> (Acedido a 29 de dezembro de 2017)
- Economia (2017).** *Portugal recebe uma nova empresa de partilha de carros*. Disponível em: <http://expresso.sapo.pt/economia/2017-08-23-Portugal-recebe-uma-nova-empresa-de-partilha-de-carros> (Acedido a 27 de Junho de 2017)
- ECycle (2013).** *Alumínio: o que é, propriedades e quais impactos pode trazer*. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/63-meio-ambiente/3743-o-aluminio-elemento-no-mundo-producao-caracteristicas-propriedades-reciclagem-problemas-toxicacao-toxico-alzheimer-lama-vermelha.html> (Acedido a 2 março de 2018)
- Edelman trust Barometer (2017).** *Trust in Crisis, Annual Global Study*. Disponível em: <https://www.edelman.com/insights/intellectual-property/edelman-trust-barometer-archive/> (Acedido a 30 de novembro de 2017)
- EDELSTEIN, Daniel L. (2001).** *Mineral Commodity Summaries 2001 - Copper*, pp. 52-53, U.S. Geological Survey, january 2001(PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2001/mcs2001.pdf> (Acedido a 14 de outubro de 2013)
- Educa [s.d.].** *Polímeros e materiais poliméricos*, Manual para o professor. Educa, Cultura Científica e ensino/aprendizagem da Química. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/noticias/69/documentos/108/Manual%20Pol%20A1meros%20e%20Materiais%20polimericos%20NV.pdf> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- EIA (2006).** *Saving Energy Recycling Paper & Glass*. U.S. Energy Information Administration. September 2006. Disponível em: <https://www.eia.gov/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- EIB Papers (2009).** *R&D and the financing of innovation in Europe, Stimulating R&D, innovation and growth*, (2009). volume 14, nº1. Disponível em: http://www.eib.org/attachments/efs/eibpapers/eibpapers_2009_v14_n01_en.pdf#page=64 (Acedido a 2 de Setembro de 2017)
- EISLER, Ronald (1993).** *Zinc Hazard to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review* (PDF). Contaminant Hazard Reviews. Laurel, Maryland: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service (10). Archived from the original on March 6, 2012. Disponível em: https://web.archive.org/web/20120306032807/http://www.pwrc.usgs.gov/infobase/eisler/chr_26_zinc.pdf (Acedido a 7 Maio de 2017)
- Ellen MacArthur Foundation (2016).** *The new Plastics Economy. Rethinking the future of Plastics*. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/EllenMacArthur_Foundation_TheNewPlasticsEconomy_15-3-16.pdf (Acedido a 3 de março de 2018)
- Ellen MacArthur Foundation (2017).** *What is a circular economy?* Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy> (Acedido a 28 de Julho de 2017)
- ELOOT, Karel; HUANG, Alan and LEHNICH, Martin (2013).** *A new era for manufacturing in China*. Article McKinsey Quarterly - McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/a-new-era-for-manufacturing-in-china> (Acedido a 6 novembro de 2017)
- ELSEVIER (2017).** *Special Issue on 4D Printing*. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/additive-manufacturing/call-for-papers/special-issue-on-4d-printing> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- EMSLEY, John (2001).** *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press. Oxford, England, UK. ISBN 0-19-850340-7.
- EMSLEY, John (2003).** *Nature's Building Blocks: An A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. Oxford, England, UK. SBN 978-0-19-850340-8
- EMSLEY, John (2011).** *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. Oxford, England, UK. ISBN 978-0-19-960563-7
- Encyclopedia Britannica (2018a).** *Abundance of the elements*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/abundance-of-the-elements> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- Encyclopedia Britannica (2018b).** *Industrial diamonds*. Written by the editors. Disponível em: <https://www.britannica.com/art/industrial-diamond> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- Energy.Gov (2018).** *Lightweight Materials for Cars and Trucks*, Vehicles Technologies Oficce. Disponível em: <https://energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks> (Acedido em 23 de fevereiro de 2018).

- ENGSTROM, Evan (2017).** *So how many patentes are in a smartphone?* January 19, 2017. Engine. Disponível em: <http://www.engine.is/news/category/so-how-many-patentes-are-in-a-smartphone> (Acedido a 26 de novembro de 2017)
- Environmental Literacy Council (2004).** *Life cycle of a cell phone: Environmental Literacy Council.* Disponível em: <http://enviroliteracy.org/article.php/1119.php> (Acedido em maio de 2008)
- Environmental Writter.org (2006).** *Manganese Chemical Background.* Metcalf Institute for Marine and Environmental Reporting University of Rhode Island, april 2006. *WaybackMachine.* Disponível em: <http://www.environmentwriter.org/resources/backissues/chemicals/manganese.htm> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- EPA (1999).** *General background document on Cathode Ray Tube, Glass.to.glass Recycling (PDF).* May 25, 1999. *Wayback Machine.* Disponível em: [https://web.archive.org/web/20081219162330/http://yosemite.epa.gov/ee/epa/riafile.nsf/419e576a3df1421685256470007e3141/5a52093c460136ac85256cf6008062d0/\\$FILE/S99-23.pdf](https://web.archive.org/web/20081219162330/http://yosemite.epa.gov/ee/epa/riafile.nsf/419e576a3df1421685256470007e3141/5a52093c460136ac85256cf6008062d0/$FILE/S99-23.pdf) (Acedido a 4 de março de 2018)
- EPA (2006).** *General Overview of What's in America's Trash. Wastes - What You Can Do, United States Environmental Protection Agency.* *Wayback Machine.* 28 June. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20120105015733/http://www.epa.gov/osw/wycd/catbook/what.htm> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- EPA (2007).** *Recycle on the Go: Basic Information.* US Environmental Protection Agency. October 18, 2007. Disponível em: <https://wayback.archive-it.org/all/20080116112144/http://www.epa.gov/epaoswer/osw/conservation/onthego/info/index.htm>(Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- EPA (2017a).** *Global Greenhouse Gas Emissions Data.* Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- EPA (2017b).** *Protect Your Family from Asbestos-Contaminated Vermiculite Insulation.* Asbes-tos. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/asbestos/protect-your-family-asbestos-contaminated-vermiculite-insulation> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- EPoS (2017).** *The European Technology Platform on Smart Systems Integration.* The Product Driven Platform, Disponível em: <http://www.smart-systems-integration.org/public> (Acedido a 6 junho de 2017)
- EPSC (2005).** *Integration of Products and services – Taking the Single Market into the 21st Century,* European Commission, European Political Strategy Centre, EPSC Strategic Notes, Issue 7/2015. Disponível em: https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/strategic_note_issue_7.pdf (Acedido a 7 junho de 2017)
- ERTEN, Bilge and OCAMPO José (2012).** *Super-cycles of commodity prices since the mid-nineteenth century.* DESA Working Paper Nº. 110 ST/ESA/2012/DWP/110, february, 2012 (PDF). doi:10.1016/j.worlddev.2012.11.013 Disponível em: http://www.un.org/esa/desa/papers/2012/wp110_2012.pdf (Acedido a 4 junho de 2017)
- ESTEVES, Pedro (2017).** *Assistentes pessoais. Alexa e Cortana vão trabalhar em conjunto.* Inteligência artificial, Observador. Disponível em: <http://observador.pt/2017/08/31/alexa-cortana/> (Acedido a 7 de setembro de 2017)
- EUGDPR.org ([s.d.]).** *The Regulation.* Disponível em: <https://www.eugdpr.org/> (Acedido a 30 de agosto de 2017)
- EUIPO (2018).** *Bases do desenho ou modelo.* Instituto da Propriedade Intelectual da União Europeia Disponível em: <https://euipo.europa.eu/ohimportal/pt/design-basics> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- EuLA (2017).** *About Lime.* The European Lime Association - EuLA. Disponível em: <https://www.eula.eu/about-lime> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- European Commission (2015).** *Circular economy. Crescimento. Mercado Interno, Indústria, Empreendedorismo e PME.* Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/circular-economy_pt (Acedido a 26 de Fevereiro de 2018)
- European Commission (2017a).** *Research and Innovation. Factories of the future (FoF). Key Enabling Technologies, European Commission.* Disponível em: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html (Acedido a 23 maio de 2017)
- European Commission (2017b).** *Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment.* European Commission (EC), Environmental, Waste, Restriction of Hazardous Substances, Legislation RoHS 2. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/legis_en.htm (Acedido a 7 de fevereiro de 2018)

- EVANS, Dave (2011).** *The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*, White paper, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Disponível em: http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- Evrythng (2017).** Disponível em: <https://evrythng.com/partners/> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- Exame Informática (2015).** *Daimler: “Google não é um fabricante de automóveis”*. Disponível em: <http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/mercados/2015-02-09-Daimler-Google-nao-e-um-fabricante-de-automoveis> (Acedido a 20 de abril de 2017)
- F8 (2017).** Developer Conference. Disponível em: <https://www.f8.com> (Acedido a 28 de agosto de 2017)
- Facebook (2017).** *The world’s biggest Public Companies*. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/facebook/> (Acedido a 25 de dezembro de 2017)
- FAO (2004).** *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture... Phosphorus in the soil-plant system*. Natural Resources Management and Environment Department. *Use of phosphate rocks for sustainable agriculture*. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/007/y5053e/y5053e06.htm>, (Acedido a 12 de Maio de 2017).
- FAVI, Claudio; GERMANI, Michele and MANDOLINI, (2016).** *A Multi-objective Design Approach to Include Material, Manufacturing and Assembly Costs in the Early Design Phase*. Volume 52, March 2016, Pages 251-256, Science Direct, Elsevier. Disponível em: https://ac.els-cdn.com/S2212827116307934/1-s2.0-S2212827116307934-main.pdf?_tid=d5bda468-a954-11e7-91ba-00000aabb0f26&acdnat=1507156928_6088b6de6b0c6df25a1176b1772a24bb (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- FDA (2017).** *The Artificial Pancreas Device System - FDA's Efforts to Advance Artificial Pancreas Device Systems*. US. Food and Drug Administration. Disponível em: <https://www.fda.gov> ; <https://www.fda.gov/medicaldevices/productsandmedicalprocedures/homehealthandconsumer/consumerproducts/artificialpancreas/default.htm> (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2006).** *Die Hightech-Strategie für Deutschland*, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. Disponível em: https://www.fona.de/pdf/publikationen/die_hightech_strategie_fuer_deutschland.pdf
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2007).** *Die Hightech-Strategie für Deutschland - Erster Fortschrittsbericht*, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. Disponível em: http://www.analyticjournal.de/downloads_f_und_e/bmbf_hts_fortschrittsbericht.pdf
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2017a).** *Smart Service World II. New examples of applications for digital services and platforms*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin (www.bmwi.de). Disponível em: <http://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/EN/Foerderprogramme/Smart-Service-Welt-2/smart-service-welt-2.html>
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2017b).** *Smart Service World. The Smart Service Welt funding programme forms part of the 'High-tech Strategy for Germany' and is funded with 50m euros by the BMWi*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin (www.bmwi.de). Disponível em: http://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/EN/Foerderprogramme/Smart_Service_Welt/smart_service_welt.html
- Federal Reserve Bank of Minneapolis Community Development Project (2018).** *Consumer Price Index (estimate) 1800*. Federal Reserve Bank of Minneapolis. Disponível em: <https://www.minneapolisfed.org/community/financial-and-economic-education/cpi-calculator-information/consumer-price-index-1800> (Acedido a 28 de janeiro de 2018)
- FELSENFELD E.J.; ROBERTS M.A. (1991).** *A report of fluorosis in the United States secondary to drinking water*. JAMA. 1991 Jan 23-30. 265 (4): 486-8.
- FELTRE, Ricardo (2000).** *Química*. (Ensino médio). São Paulo: Moderna. 528 páginas. ISBN 85-16-02604-3
- FENTON, Michael D. (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Iron and Steel*, pp.84-85, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- FENTON, Michael D. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Iron and Steel*, pp.82-83, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- FERGUSON Jack E. and PURCHASE, Nigel G. (1987).** *The analysis and levels of lead in human teeth: a review*. Environmental Pollution. 1987;46(1):11-44. NCBI, PubMed.gov, US National Library of Medicine National Institutes of Health. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15092740> (Acedido a 7 de fevereiro de 2018)

- FERREIRA, André; NÓVOA, Paulo e MARQUES, António (2016).** *Multifunctional Material Systems: A state-of-the-art review Composite Structures*. Volume 151, 1 September 2016, Pages 3-35, Elsevier, Science Direct. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.01.028> (Acedido a 6 de março de 2018)
- FERREIRA, A. B. H. (1986).** *Novo dicionário da língua portuguesa*. 2ª edição. Rio de Janeiro. Nova Fronteira. 1986. p. 851.
- FILIPOVIC, Voislav Petrovic; GONZALEZ, Juan Vicente; FERRANDO, Olga Jordá and PORTOLES, Luis. (2011).** *Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies*. International Journal of Production Research. 49 (4), pp. 1061-1079, 10.1080/00207540903479786.
- FINGAS, Jon Fingas (2017).** *The Pixel 2 has a surprise: Google's first custom imaging chip*. Engadget, September 17, 2017. Disponível em: <https://www.engadget.com/2017/10/17/google-reveals-pixel-visual-core-imaging-chip/> (Acedido a 5 de outubro de 2017)
- FINK, Carsten; RAFFO, Julio and WUNSCH-VINCENT, Sacha (2015).** *World Intellectual Property Report, Breakthrough Innovation and Economic Growth*. Economic & Statistics Series. WIPO, World Intellectual Property Organization. Disponível em: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_944_2015.pdf (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- FLANAGAN, Daniel M. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Asbestos*, pp.28-29, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lime/mcs-2017-lime.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- FLANAGAN, Daniel M. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Talc and Pyrophyllite*, pp 164-165, January 2017 (PDF). U.S. Department of the Interior & USGS. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- FLANAGAN, Daniel M. (2017c).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Wollastonite*, pp. 186-187, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 17 de janeiro de 2018).
- FLANAGAN, Daniel M. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Asbestos*, pp. 28-29, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- FLANAGAN, Daniel M. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Cooper*, pp. 52-53, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- FLEURBAEY, M. and BLANCHET D. (2013).** *Beyond GDP: Measuring Welfare and Assessing Sustainability*, Oxford University Press. Disponível em: http://www.mcc-berlin.net/uploads/media/Creutzig_Mattauch_Fleurbay_Review_2013.pdf (Acedido a 14 de Abril de 2015)
- Forbes (2017).** *Brand Finance Global 500, 2017*. Disponível em: <https://www.forbes.com/powerful-brands/list/#tab:rank>; <http://brandfinance.com/knowledge-centre/reports/brand-finance-global-500-2017>; http://brandfinance.com/images/upload/global_500_2017_locked_website.pdf (Acedidos a 8 de julho de 2017)
- Forbes (2018).** *Forbes: The World's Biggest Public Companies*. Disponível em: https://www.forbes.com/global2000/list/#header:marketValue_sortreverse:true (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- FORD, Martin (2009).** *The Lights In the Tunnel: Automation, Accelerating Technology and the Economy of the Future*. Acculant Publishing. Disponível em: <https://ieet.org/archive/LIGHTSTUNNEL.PDF> (Acedido a 12 de fevereiro de 2016)
- Forschung wirkt (2014).** *Produktion der Zukunft - 7. Ausschreibung*. FFG - Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft. Disponível em: <https://www.ffg.at/7-ausschreibung-produktion-der-zukunft/> (Acedido a 20 junho de 2017)
- FOSMIRE, G. J. (1990).** *Zinc toxicity*. American Journal of Clinical Nutrition. 51 (2): 225-7. PMID 2407097
- FOWLER, Nina (2014).** *Introducing the Blue Economy*. 29 July, 2014. APN / NZ HERALD Disponível em: http://www.nzherald.co.nz/element-magazine/news/article.cfm?c_id=1503340&objectid=11297558 (Acedido a 10 de janeiro de 2018)
- FOX, Stephen and LI, Leijun (2012).** *Expanding the scope of prosumption: A framework for analysing potential contributions from advances in materials technologies*. Technological Forecasting and Social Change, Volume 79, Issue 4, May 2012, Pages 721-733, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162511002204> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- FRANKEL, Todd C. (2016).** *O encanamento de cobalto - Traçando o caminho de minas mortíferas de mão no Congo para telefones e laptops de consumidores*. Disponível em: <https://www.washing>

tonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-li-thium-ion-battery/ (Acedido a 19 dezembro 2017).

- FRANSMAN, Martin (2010).** *The new ICT ecosystem: Implications for Policy and Regulation*. Cambridge University Press New York, NY, USA, ISBN: 0521171202 9780521171205. Disponível em: <https://books.google.pt/books?id=-aQgAwAAQBAJ&pg=PA37&lpg=PA37&dq=Symbiotic+ecosystem&source=bl&ots=iVA8SUGlG&sig=vrLOOKykcR80JPeP2wZTDIrgZc&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwj9zOnTvdXWAhXBICAKHcrbCt44ChDoAQhXMAg#v=onepage&q=Symbiotic%20ecosystem&f=false> (Acedido a 19 de novembro de 2016)
- FREEMAN, Richard [s.d.].** *Who owns the robots rules the world. : The deeper threat of robotization*. IZA, World of Labor. Disponível em: <https://wol.iza.org/articles/who-owns-the-robots-rules-the-world/long> (Acedido a 23 de dezembro de 2017); <http://harvardmagazine.com/2016/05/who-owns-the-robots-rules-the-world> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- FRERICHS, Melanie (2015).** *Industriearbeit 4.0: Gestaltungskonzepte für gute Arbeit*. Arbeit der Zukunft: Möglichkeiten nutzen - Grenzen setzen. - Frankfurt: Campus Verlag, ISBN 978-3-593-50451-3. - 2015, p. 459-467. Disponível em: <https://www.econbiz.de/Record/industriearbeit-4-0-gestaltungskonzepte-f%C3%BCr-gute-arbeit-frerichs-melanie/10011345825> (Acedido a 12 outubro de 2017)
- FREY, Carl Benedikt and OSBORNE, Michael A. (2013).** *The future of employment: How susceptible are jobs to computerization?* Oxford Martin School, University of Oxford, UK. Disponível em: <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/view/1314> ; http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (Acedido a 12 de fevereiro de 2016)
- FTHENAKIS, Vasilis M.; KIM, Hyung Chul and ALSEMA, Erik (2008).** *Emissions from Photovoltaic Life Cycles*. Environmental Science & Technology. 42 (6): 2168-2174. Bibcode: 2008EnST...42.2168F. doi:10.1021/es071763q.
- Futureng (2016).** *O aço e a sustentabilidade*. <http://www.futureng.pt/o-aco-e-a-sustentabilidade> (Acedido a 4 de março de 2018)
- GAD, Shayne C. (2005).** *Encyclopedia of Toxicology*. 2nd edition. pp. 11-13. ISBN 978-0-12-369400-3
- GALBRAITH, J.K. (2014).** *The end of normal: the great crisis and the future of growth*. New York: Simon & Schuster.
- GALEON, Dom (2018).** *AI is coming to your phone*. Information Technology, WEF. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2018/02/ai-smartphones-are-coming?utm_content=buffer5e999&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 17 de Fevereiro de 2018)
- GAMBOGI, Joseph (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Rare Earth*, pp. 134-135. U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2017-raree.pdf (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- GAMBOGI, Joseph (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Rare Earth*, pp. 132-133. U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- GAMBOGI, Joseph (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Scandium*, pp. 144-145. U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- GANTZ, John F.; CHUTE, Christopher; MANFREDIZ, Alex; MINTON, Stephen; REINSEL, David; SCHLICHTING, Wolfgang and TONCHEVA, Anna (2008).** *The Diverse and Exploding Digital Universe: An Updated Forecast of Worldwide Information Growth Through 2011 – An Updated Forecast of Worldwide Information Growth Through, March 2008*, John F. Gantz, Project Director(PDF). Analyse the Future, IDC sponsored by EMC, Framingham, 2008. Disponível em: <https://www.ifap.ru/library/book268.pdf> (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- GAO, Paul; KAAS, Hans-Werner; MOHR, Detlev and VEE, Dominik (2016).** *Disruptive trends that will transform the auto industry*. January 2016, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/disruptive-trends-that-will-transform-the-auto-industry> (Acedido a 20 de junho de 2017)
- GAPPER, John (2015).** *Software is steering the car industry*, Financial Times, 18 fevereiro, 2015. In *Integration of Products and services - Taking the Single Market into the 21st Century*, European Commission, European Political Strategy Centre, EPSC Strategic Notes, Issue 7 / 2015, 06 october. Disponível em: https://ec.europa.eu/epsc/sites/epsc/files/strategic_note_issue_7.pdf (Acedido a 24 de janeiro de 2017).

- GARCIA-SWARTZ, Daniel D. and GARCIA-VICENTE, Florencia (2015).** *Network effects on the iPhone platform: An empirical examination*. Telecommunications Policy 39(10) · August 2015. Research Gate Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283933639_Network_effects_on_the_iPhone_platform_An_empirical_examination (Acedido a 14 de março de 2017)
- GARRETT, Donald E. (1998).** *Borates: handbook of deposits, processing, properties, and use*. Academic Press. pp. 102; 385-386. ISBN 0-12-276060-3.
- Gartner (2013).** *Gartner says the Internet of Things installed base will grow to 26 Billion Units by 2020*. Newsroom, Stamford, Conn. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- Gartner (2014).** *Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business*. Newsroom, Stamford, Conn. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918> (Acedido a 23 de novembro de 2017)
- Gartner (2017a).** *Three Trends*. Smarter with Gartner. Disponível em: http://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/files/2017/08/PR_296373_INFORGRAPHIC_TRENDS_R4A.jpg (Acedido a 22 de outubro de 2017)
- Gartner (2017b).** *2017 Hype Cycles Highlight Enterprise and Ecosystem Digital Disruptions*. Special Report. Disponível em: http://www.gartner.com/technology/research/hype-cycles/?cm_sp=sr_-hc_-btn (Acedido a 14 de agosto de 2017)
- GE, Qi; QI, H. Jerry and MARTIN, L. Dunn (2013).** *Active materials by four-dimension printing*. Applied Physics Letters. 103. 131901-131901. 10.1063/1.4819837. Research Gate. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260697199_Active_materials_by_four-dimension_printing (Acedido a 29 de maio de 2017)
- GEBLER, Malte; UITERCAMP, Anton J.M. Schoot and VISSER, Cindy (2014).** *A global sustainability perspective on 3D printing technologies*. Energy Policy, Volume 74, November 2014, Pages 158-167, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514004868> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- GEBRIM, Sophia (2013).** *Os riscos do Mercúrio*. Convenção internacional definirá critérios para uso do metal. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/8985-os-riscos-do-merc%C3%BArrio> (Acedido a 3 de janeiro de 2018)
- GELL-MANN, Murray (1994).** *Complex Adaptive Systems*. In: Complexity: metaphors, models, and reality, eds. George A. Cowan, David Pines, and David Meltzer. USA: Addison-Wesley, pp. 17-45.; Disponível em: http://tuvalu.santafe.edu/~mgm/Site/Publications_files/MGM%20113.pdf (Acedido a 22 maio de 2017)
- GENNAIOLI, Nicola; La PORTA, Rafael; LOPEZ DE SILANES, Florencio and SHIEFER, Andrei (2014).** *Human capital and regional development*, Quarterly Journal of Economics, (128, 105-164).
- Geo.UTexas (1998).** *Garnet*, Department of Geological Sciences. The University of Texas at Austin, Geological Sciences at University of Texas, Austin. Geo.utexas.edu. Disponível em: http://www.geo.utexas.edu/courses/347k/redesign/Gem_Notes/Garnet/garnet_main.htm (Acedido a 18 de fevereiro de 2018)
- Geology (2017).** *Kyanite*, Geology.com, Geoscience News and Information. Disponível em: <https://geology.com/minerals/kyanite.shtml> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- GEORGE, Micheal W. (2017).** *Mineral Commodity Summaries - Gold*, pp. 72-73, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 2 fevereiro de 2018)
- GEORGE, Micheal W. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries - Gold*, pp. 70-71, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 2 fevereiro de 2018)
- GEORGE, Micheal W. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries - Mercury*, pp. 106-107, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 fevereiro de 2018)
- GERBER, G.B.; LÉONARD A. and HANTSON, P. (2002).** *Carcinogenicity, mutagenicity and teratogenicity of manganese compounds*. Crit Rev Oncol Hematol. NCBI. 2002 Apr;42(1):25-34 Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11923066> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- GFN (2016).** Global Footprint Network (online). Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org> (Acedido a 13 Dezembro de 2017)

- GIBSON, I.; ROSEN, D.W. and STUCKER, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, 2010 p. 10. Springer (New York). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616304395#bib62> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- GILES, Chris and FLEMING, Sam (2015). *Why slowing productivity growth is acute problem worldwide*. June 2, 2015. The Straits Times. Disponível em: <http://www.straitstimes.com/opinion/why-slowing-productivity-growth-is-acute-problem-worldwide> (Acedido a 25 de maio de 2016).
- Glass magazine (2009). *Auto*, January 22, 2009. Disponível em: <https://glassmagazine.com/news-item/auto/downturn-global-car-industry-blame-glass-job-losses> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- Glencore International (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/glencore-international/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- GLOVER, Ian A. and GRANT, Peter M. (2009). *Digital communications*. Prentice Hall (PDF). Disponível em: http://mirror.thelifeofkenneth.com/lib/electronics_archive/DigitalCommunications-GloverGrant.pdf
- GOLDEN, Mark (2017). *Wireless charging means electric cars could drive forever*. Future of Production, 22 June 2017, WEF - World Economic Forum. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/06/wireless-tech-means-electric-cars-could-drive-forever/> (Acedido a 10 de fevereiro de 2018)
- GOMES, Paulo Zacarias (2017a). *Trás-os-Montes: Australianos confirmam uma das maiores reservas de lítio da Europa*. 20 Fevereiro, 2017, Negócios. Disponível em: <http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/tras-os-montes-australianos-confirmam-uma-das-maiores-reservas-de-litio-da-europa> (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- GOMES, Paulo Zacarias (2017b). *Dakota quer investir até 370 milhões em fábrica de lítio*. Negócios. Disponível em: http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/industria/detalhe/dakota-quer-investir-ate-370-milhoes-em-fabrica-de-litio?ref=DET_relacionadas (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- GOODSHIP, V. (2007). *Introduction to plastics recycling* (2nd edition). London: Smithers Rapra.
- GOODSHIP, V. (2010). *The instant expert: Plastics, processing and properties*. Toronto: ChemTec Publishing.
- GORDON, Robert (2016). *The Rise and Fall of American Growth: The US Standard of Living since the Civil War*. Princeton University Press; Gforce, Why economic growth soared in America in the early 20th century, and why it won't be soaring again any time soon, The Economist. Disponível em: <http://www.economist.com/news/books-and-arts/21685437-why-economic-growth-s> (Acedido a 4 de setembro de 2017).
- Gov.UK (2013). *Future of Manufacturing: a New Era of Opportunity and Challenge for the UK - Summary Report 2013*. Department for Business & Skills / Government Office for Science. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-manufacturing/future-of-manufacturing-a-new-era-of-opportunity-and-challenge-for-the-uk-summary-report> (Acedido a 19 de novembro de 2016)
- Gov.UK (2014). *Strontium ranelate: cardiovascular risk - restricted indication and new monitoring requirements*. Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency, UK. March 2014. Disponível em: <https://www.gov.uk/drug-safety-update/strontium-ranelate-cardiovascular-risk> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- GPDA (2017). *Gypsum*. Gypsum Products Development Association, Health and Safety. Disponível em: <http://www.gpda.com/healthAndSafety> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- GPO (2017). *40 C.F.R.: Appendix A to Part 355—The List of Extremely Hazardous Substances and Their Threshold Planning Quantities* (PDF) (July 1, 2008 ed.). Government Printing Office. Disponível em: https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-A_to_part_355, Cornell Law School, LII - Legal Information Institute; <https://www.gpo.gov/fdsys/browse/collection.action?collectionCode=FR> (Acedido a 18 de janeiro de 2017)
- GRACE, Katja; SALVATIER, John; DAFOE, Allan; ZHANG, Baobao and EVANS, Owain (2017). *When will AI exceed human performance? Evidence from AI Experts*. arXiv:1705.08807v2 [cs.AI] 30 May 2017. Future of Humanity Institute, Oxford University / AI Impacts/ Department of Political Science, Yale University. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1705.08807.pdf> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- GRAEBER, David (2011). *Debt - The first 5 000 years*. Brooklyn, New York : Melville House Publishing, Disponível em: https://ia902300.us.archive.org/13/items/Debt-The_First_5000_Years/Debt-The_First_5000_Years.pdf (Acedido a 23 de agosto de 2017).
- GRAEDEL, T.E. (2015). *Criticality of metals and metalloids*. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/112/14/4257> (Acedido a 10 de agosto de 2017).

- GRAF, G. G. (2005).** *Tin, Tin Alloys, and Tin Compounds*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005 Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a27_049
- Granta (2017).** *Granta - Material Intelligence*. Senvol Database. Additive Manufacturing. Disponível em: <https://www.grantadesign.com/products/data/senvol.htm> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- GRAY, Alex (2017).** *These are the world's 10 most competitive economies*, Future of Economic Progress, Switzerland, WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/global-competitiveness-2017-top-economies> (Acedido a 30 outubro de 2017)
- Graystar (2006).** *Material Safety Data Sheet for Garnet*. Date of re-issue: May 2006 Disponível em: <http://www.graystarllc.com/gSPDF/GarnetMSDS.pdf> (Acedido a 10 de fevereiro de 2018)
- GREENE, Jay (2012a).** *Digging for rare earths: The mines where iPhones are born*. Tech Industry, CNet News, September 26, 2012
- GREENE, Jay (2012b).** *The environmental pitfalls at the end of an iPhone's life*, Tech Industry. CNET News. Disponível em: <https://www.cnet.com/news/the-environmental-pitfalls-at-the-end-of-an-iphones-life/> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- Greenpeace (2007).** *Missed call: iPhone's hazardous chemicals - Creating toxic-free future*. Greenpeace Researchers Laboratories, Technical note, October 2017. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2007/10/iPhones-hazardous-chemicals.pdf>; <https://www.greenpeace.org/archive-international/en/news/features/iPhone-test-hazardous-toxic-chemicals151007/> (Acedido a 20 de janeiro de 2017)
- Greenpeace (2018).** *Guiyu: An E-Waste Nightmare Electronic Waste*, The Problems, Eliminate Toxic Chemicals, Greenpeace. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/eastasia/campaigns/toxics/problems/e-waste/guiyu/> (29 de janeiro de 2018)
- GREENWOOD, N. N. and EARNSHAW, A. (1997).** *Chemistry of the elements*. School of Chemistry, University of Leeds, U.K. 2nd Edition, ISBN 0-7506-3365-4.
- GREVESSE, N.; ANDERS, E. Anders and Waddington, J. (1988).** (ed.), Amer. Inst. Phys., New York, p. 1. (1988).
- GROSSE-OPHOFF, Anne; HAUSLER, Saskia; Heineke, Kersten and MöLLER, Timo (2017).** *How shared mobility will change the automotive industry*. April, 2017 McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-shared-mobility-will-change-the-automotive-industry> (Acedido a 1 de maio de 2017)
- GSM Arena (2013).** *Mobile phone evolution: Story of shapes and sizes*. Disponível em: http://www.gsmaarena.com/mobile_phone-evolution-review-493.php (Acedido a 28 de janeiro de 2018)
- GUBERMAN, David E. (2011).** *Mineral Commodity Summaries 2011 - Germanium*, pp. 64.65, U.S. Geological Survey, January 2011, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium/mcs-2011-germa.pdf> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- GUBERMAN, David E. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Antimony*, pp. 24-25, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony/mcs-2017-antim.pdf> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- GUBERMAN, David E. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Lead*, pp.96-97, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- Gulf News Report (2018).** *Watch: Building road from plastic waste in India*. Disponível em: <http://gulfnews.com/news/asia/india/watch-building-roads-from-plastic-waste-in-india-1.2122745> (7 de março de 2018)
- GUO, Nannan and LEU, Ming C. (2013).** Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers Mechanical Engineering*, 8 (3) (2013), pp. 215-243, DOI: 10.1007/s11465-013-0248-8. Disponível em: <http://journal.hep.com.cn/fme/EN/10.1007/s11465-013-0248-8> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- GUTOWSKI, Timothy; COOPER, Daniel and SAHNI, Sahil (2017).** *Why we use more materials*. *Phil. Trans. R. Soc. A* 375: 20160368. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0368>
- HABERFELLNER, Regina (2015).** *Zur Digitalisierung der Arbeitswelt*. Globale trends - europäische und österreichische Entwicklungen, AMS report, Wien. Disponível em: http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/AMS_report_112.pdf (Acedido a 28 novembro de 2017)
- HALEY, Thomas J. and CARTWRIGHT, Frank D. (1968).** *Pharmacology and toxicology of potassium perrhenate and rhenium trichloride*. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 57 (2): 321-323. doi:10.1002/jps.2600570218

- HÄLLGREN, Sebastian; PEJRYD, Lars and EKENGREN, Jens (2016).** *(Re)Design for Additive Manufacturing*. Procedia CIRP, Volume 50, 2016, Pages 246-251, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116303900> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- HAMELINK, C. J. (1997).** *New information and communication technologies, social development and cultural change*. United Nations Research Institute for Social Development, Discussion Paper nº86. Geneva.
- HAMMOND, C. R. (2004).** *The Elements*, in Handbook of Chemistry and Physics (81st ed.). CRC press.
- Handbook, (2000).** *ASM Specialty. – Nickel, Cobalt, and Their Alloys*. [ed.] Davis & Associates Edited by J. R. Davis.
- HANOR, J. (2000).** *Barite-celestine geochemistry and environments of formation*. Reviews in Mineralogy. Washington, DC: Mineralogical Society of America. 40: 193-275. ISBN 0-939950-52-9.
- HANSEN, Tony (2017).** *Quartz, Crystalline Silica Toxicity*. Digitalfire.com. Reference Library. Disponível em: https://digitalfire.com/4sight/hazards/ceramic_hazard_quartz_crystalline_silica_toxicity_251.html (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- Hanson Robotics (2017).** *We bring robots to life*. Disponível em: <http://www.hansonrobotics.com> (Acedido a 13 de novembro de 2017)
- HANSON, D.J. (2011).** *Concern grows over rare-earths supply*. Chem Eng News 89(20):28-29. Disponível em: <https://cen.acs.org/articles/89/i20/Concern-Grows-Over-Rare-Earths.html> (Acedido a 18 de dezembro de 2017).
- HARADA, M. (1995).** *Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution*. Department of Epidemiology, Kumamoto University Medical School, Japan. Crit Rev Toxicol. PUBMED - US National Library of Medicine, National Institutes of Health 1995;25(1):1-24, PMID: 7734058 DOI: 10.3109/10408449509089885
- HARRISON, W.; BRADBERRY, S. and VALE, J. (1998).** *Tellurium. International Programme on Chemical Safety - IPCS*. (1998-01-28).
- HARTLEY, Marie, (2010).** *Iodine*. DermNet New Zealand Trust. Disponível em: <https://www.dermnetnz.org/topics/iodine/> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- HARTMANN, Ernest (2015).** – *Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen*. s.l., In: Botthof, Alfons / Hartmann, Ernst A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Verlag. Heidelberg, S. 9-22) <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2016/01/industrie-4-0-kuenstliche-intelligenz-maschinen>, (Acedido a 22 de setembro de 2017) : In: Botthof, Alfons / Hartmann, Ernst A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Verlag. Heidelberg, S. 9-22) <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2016/01/industrie-4-0-kuenstliche-intelligenz-maschinen>, (Acedido a 22 de setembro de 2017).
- HASAN, Heather (2008).** *Manganese*. The Rosen Publishing Group. p. 31. ISBN 978-1-4042-1408-8.
- HASELTON, Todd (2017).** *Google is playing Apple billions per year to remain non the iPhone, Bernstein Says*. August, 14, 2017, CNBC. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2017/08/14/google-paying-apple-3-billion-to-remain-default-search--bernstein.html> (Acedido a 16 de agosto de 2017)
- HAXEL, Gordon B; HEDRICK, James B. and ORRIS, Greta J. (2002).** *Rare Earth elements - Critical Resources for High Technology*. Supporting Sound Management of Mineral Resources. Fact Sheet 087-02, (PDF) USGS - U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/fs087-02.pdf> (Acedido em 18 de dezembro de 2017).
- HEDRICK, James B. (2010).** *Mineral Commodity Summaries, - Mica (Natural), Scrap and Flake*, pp 102-103, U.S. Geological Survey, January 2010. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mica/mcs-2010-micasc.pdf> (Acedido a 9 de janeiro de 2018)
- HEINBERG, R. (2011).** *The end of growth: Adapting to our new economic reality*. Gabriola Island, Canada: New Society Pub.
- HEINEKE, Kersten; KAMPSHOFF, Philipp; Mkrtchyan, Armen and SHAO, Emily (2017b).** *Self-driving car technology: When will the robots hit the road?* McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/self-driving-car-technology-when-will-the-robots-hit-the-road> (Acedido a 20 de janeiro de 2018)
- HEINEKE, Kersten; MöLLER, Timo; PADHI, Asutosh and TSCHIESNER, Andreas (2017a).** *The automotive revolution is speeding up*. September 2017. McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-automotive-revolution-is-speeding-up> (Acedido a 11 de outubro de 2017)

- HEINEKE, Kersten; MöLLER, Timo; PADHI, Asutosh and TSCHIESNER, Andreas (2017c).** How mobility players can compete as the automotive revolution accelerates. October 2017. McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-mobility-players-can-compete-as-the-automotive-revolution-accelerates> (Acedido a 15 de novembro de 2017)
- HERMAN, R.; ARDEKANI, S.A. e AUSUBEL, J. (1989).** *Dematerialization*. Technology and Environment. National Academy Press. 37, pp. 333-348, Washington, D.C, 1989
- Hewlett Packard Enterprise HP (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/hewlett-packard-enterprise/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- HILBERT, Martin and LOPEZ, Priscila (2011).** *The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information*. Science, 01 Apr 2011: Vol. 332, Issue 6025, pp. 60-65. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-59542013000400006 (Acedido a 13 de agosto de 2017).
- HIRSCH-Kreinsen, Hartmund; ITTERMANN, Peter, NIEHAUS, Jonathan; HOMPEL, Michael ten; DREGGER, Johannes; Mättig and Kirks, Thomas. (2014).** *Projektgruppe Social Manufacturing and Logistics (SoMaLI), TU Dortmund. Digitalisierung Von Industriearbeit und Entwicklungsperspektiven*. Zwischenbericht des Forschungsprojektes. Social Manufacturing and Logistics [SoMaLI]. Ein Leitbild der Technologischen, Organisatorischen und Socialen Herausforderungen der Industrie 4.0, Technische Universität Dortmund. Disponível em: <http://docplayer.org/7783981-Digitalisierung-von-industrie-arbeit-forschungsstand-und-entwicklungsperspektiven.html> (Acedido a 10 dezembro de 2017)
- HOGAN, C. Michael (2011).** *Phosphate*. Encyclopedia of Earth. Topic ed. Andy Jorgensen. Ed.-in-Chief C.J. Cleveland. National Council for Science and the Environment. Washington DC. Disponível em: <https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Phosphate> (Acedido a 6 de fevereiro de 2016)
- HÖLL, R.; KLING, M. and SCHROLL, E. (2007).** *Metallogenesis of germanium - A review*. Ore Geology Reviews. 30 (3-4): 145-180. Doi: 10.1016/j.oregeorev.2005.07.034
- HOMBURGER, Wolfgang S.; KELL, James H. and PERKINS, David D. (1992).** *Fundamentals of Traffic Engineering*. Institute of Transportation Studies, University of California.
- HOTZ, C.; DeHAENE, J.; WOODHOUSE, L. R.; VILLALPANDO, S.; RIVERA, J. A.; KING, J. C. (2005).** *Zinc absorption from zinc oxide, zinc sulfate, zinc oxide + EDTA, or sodium-zinc EDTA does not differ when added as fortificants to maize tortillas*. Journal of Nutrition. 135 (5): 1102-5. PMID 15867288
- HOUSER, Kristin (2017).** *LIVE Updates: Everything you need to Know from Apple's iPhone Keynote*. September 12, 2017. Disponível em: <https://futurism.com/live-everything-you-need-to-know-from-apples-iphone-keynote/> (Acedido a 24 de outubro de 2017)
- HOWE, Jeff (2006).** *The Rise of Crowdsourcing*. Wired. Disponível em: <http://www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds.html> (Acedido a 17 de dezembro de 2017)
- HSE (2001).** *Cement*. HSE - Health and Safety Executive. Information Sheet, Construction Information Sheet nº 26 (revision 2), pp.1-4. Printed and published by the Health and Safety Executive. Archived copy (PDF). Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/pubns/cis26.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- Hybrid Manufacturing Technologies (2017).** Disponível em: <http://www.hybridmanutech.com/hybrid-manufacturing.html> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- IBM (2015).** *Outthink Boundaries*. Global C-suite Study. Disponível em: <https://www-935.ibm.com/services/c-suite/study/study/> (Acedido a 12 de julho de 2017)
- IBM (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/ibm/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- IBM (2018).** *Watson*. Disponível em: <https://www.ibm.com/watson/> (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- IDC (2017a).** *Directions. Your Bussiness & Redifined: The rise of the digital Economy*. Disponível em: <http://www.cvent.com/events/idc-directions-2017/event-summary-973e0d4f8f604505b6edaa68eb54429c.aspx> (Acedido a 12 de fevereiro de 2018)
- IDC (2017b).** *Smartphone Vendor, Market Share, 2017 Q1*. Disponível em: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/vendor> (Acedido a 1 de fevereiro de 2018)
- IEC (2015).** *Factory of the future*. IEC - International Electrotechnical Commission White paper. Disponível em: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf> (Acedido a 10 de agosto de 2017)

- IIC - Industrial Internet Consortium (2017).** Disponível em: www.iiconsortium.org (Acedido a 14 outubro de 2017)
- Infopedia (2018).** Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/raro> (21 de fevereiro de 2018)
- Intel (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/intel/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Interbrand (2012).** *Best Global Brands 2012*. The definitive guide to the 100 best global Brands. Disponível em: <https://www.rankingthebrands.com/PDF/Interbrand%20Best%20Global%20Brands%202012.pdf> (Acedido a 23 de dezembro de 2017)
- International Federation of Robotics (2016).** *World Robotics Report 2016*. IFR, European Union occupier top position in the global automation race. IFR Press Releases. Disponível em: https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-report-2016_ (Acedido a 12 de julho de 2017)
- International Monetary Fund - IMF (2017).** Disponível em: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/update/01/> (Acedido a 30 outubro de 2017)
- Internet archive (2011).** *Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production* (acatech POSITION PAPER), Edited by: Ariane Hellinger, Heinrich Seeger, Acatech - National Academy of Science and Engineering, 2011, Springer Verlag 2011. ISSN 2192-6166/ISBN 978-3-642-29089-3/ISBN 978-3-642-29090-9 (eBook) DOI 10.1007/978-3-642-29090-9, Disponível em: https://archive.org/stream/Cyber-Physical_Systems/Cyber-Physical_Systems_djvu.txt (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Internet World Stats (2017).** *Internet users in the world by regions*. Usage and Population Statistics. Disponível em: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm> (Acedido a 4 de abril de 2016)
- Inventec Appliances (2017).** *History of the company*. Disponível em: <http://www.iac.com.tw/about-us/roadmap.aspx?langId=2> (Acedido a 12 de setembro de 2017)
- Investor Relations (2016).** Disponível em: <http://investor.apple.com/financials.cfm> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- IRP (2011).** *Decoupling - natural resource use and environmental impacts from economic growth*. United Nations Environmental Programme (PDF). International Resources Panel (UNEP) Disponível em: http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling_Report_English.pdf (Acedido em 18 de novembro de 2017).
- IRP (2014).** *Decoupling 2 - Technologies, Opportunities and Policy Options*. United Nations Environmental Programme. (PDF). International Resources Panel (UNEP). Disponível em: www.sourcepanel.org/file/409/download?token=vkGx91ix (Acedido em 18 de novembro de 2017).
- Israel Science and Technology Directory (2018).** *Abundance in Earth's crust*. Disponível em: <https://www.science.co.il/elements/?s=Earth> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- ITO, Y. (1981).** *The johoda shakai approach to the study of communication in Japan*, in C. Wihoit and H. deBock (eds), Mass Communication Review Yearbook, Beverly Hills vol.2 CA, SAGE pp.671-98.
- ITRI (2007).** *Tin Use Survey, 2007*. Wayback Machine, Internet Archive. Disponível em: https://web.archive.org/web/20081207093536/http://www.itri.co.uk/pooled/articles/BF_TECHART/view.asp?Q=BF_TECHART_297350 (Acedido a 7 de fevereiro de 2018)
- ITU (2018).** *Global E-waste Statistics Partnership*. Committed to connecting the world. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/ewaste/globalewastestatisticspartnership.aspx> (Acedido a 16 de fevereiro de 2018)
- IZA (2011).** *Zinc Recycling*. International Zinc Association. Archived from the original on October 21, 2011. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20111021135539/http://www.zincworld.org/recycling.html> (Acedido a 14 janeiro de 2018)
- Japan Markt (2014).** *Industrie 4.0: Deutschland als Vorbild für Japan*. Wirtschaft & Politik, JapanMarkt, CNC, Japan. Disponível em: <http://www.japanmarkt.de/2014/05/12/wirtschaft/industrie-4-0-deutschland-als-vorbild-fuer-japan/> (Acedido a 16 junho de 2017)
- JASINSKI, Stephen M. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Phosphate Rock*, pp 124-125, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 28 de Agosto de 2018)
- JASINSKI, Stephen M. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Potash*, pp.128-129, US geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 1 de fevereiro de 2018).

- JASINSKI, Stephen M. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Mica (Natural)*, pp.108-109, US geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018).
- JASINSKI, Stephen M. (2018b). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Phosphate Rock*, pp.122-123, US geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018).
- JASINSKI, Stephen M. (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Potash*, pp.126-127, US geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018).
- JASKULA, Brian W. (2006). *Mineral Commodity Summaries 2006 - Lithium*, pp.100-101, U.S. Geological Survey, January 2006, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/lithimcs06.pdf> (Acedido a 4 de janeiro 2018)
- JASKULA, Brian W. (2017a). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Beryllium*, pp.34-35, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- JASKULA, Brian W. (2017b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Gallium*, pp.64-65, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de Fevereiro de 2018)
- JASKULA, Brian W. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Beryllium*, pp.32-33, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 13 de Fevereiro de 2018)
- JASKULA, Brian W. (2018b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Gallium*, pp.62-63, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de Fevereiro de 2018)
- JASKULA, Brian W. (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Lithium*, pp.98-99, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de Fevereiro de 2018)
- Jefferson Lab (2018). *It's Elemental – The Periodic Table of Elements*. Disponível em: <https://education.jlab.org/itselemental/index.html> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- JEVONS, W.S. (1965). *The coal question: Can Britain survive?* In A. W. Flux (ed.), *The Coal question: An inquiry concerning the progress of the nation and the probable exhaustion of our coal-mines*. New York: Augustus M. Kelly.
- JEZARD, Adam (2017). *These elements could disappear from the world*. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/11/the-periodic-table-of-endangered-elements> (Acedido a 28 de Fevereiro de 2018)
- JHA, S.K.; SINGH, R.K.; DAMODARANT, T.; MISRHA V.K.; SHERMA D.K. and RAI D. (2013). *Fluoride in groundwater: toxicological exposure and remedies*. J Toxicol Environ Health B Crit Rev, 2013. 16(1): 52-66. Medicine
- JOHNSON, Brian A. (2015). *Disruptive Mobility: AV Deployment Risks and Possibilities*. U.S. Autos & Auto Parts. Barclays. Disponível em: http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Brian_Johnson_DisruptiveMobility.072015.pdf (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- JOHNSON, Daniel K. N. and SCOWCROFT, Sylvie (2013). *The Importance of Being Steve: An Econometric Analysis of the Contribution of Steve Jobs's Patents to Apple's Market Valuation*. Colorado College Working Paper No. 2013 -13 Pages Posted: 29 Mar 2013. SSRN. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2239933 (Acedido a 3 de fevereiro de 2017)
- JONES, Charles I. (1999). *Introdução à teoria do Crescimento Económico*. Campus, Rio de Janeiro.
- JONG, Jeroen P.J. de and BRUIJN, Erik de (2013). *Innovation lessons from 3-D printing*, MIT Sloan Management Review., 54 (2) pp. 43-52). Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/files/2012/12/1819a3bcb5e.pdf> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- JOO, Si Hyung and LEE, Keun (2016). *Catch-up strategy of an emerging firm in an emerging country: analyzing the case of Huawei Vs. Ericsson With...*, *International Journal of Technology Management*, DOI: 10.1504/IJTM.2016.080543. January 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Keun_Lee10/publication/311248150_Catch-up_strategy_of_an_emerging_firm_in_an_emerging_country_analysing_the_case_of_Huawei_vs_Ericsson_with_patent_data/links/58442de608aeda6968190c8b/Catch-up-strategy-of-an-emerging-firm-in-an-emerging-country-analysing-the-case-of-Huawei-vs-Ericsson-with-patent-data.pdf (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)

- Jornal de Pneumologia (2002).** Publicação Oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (2002). Volume 28. São Paulo - SP
- KAGERMANN, Von Henning and LUKAS, Wolf-Dieter (2011).** *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*. VDI Nachrichten. Disponível em: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-DingeWeg-4-industriellen-Revolution> (Acedido a 13 maio de 2017)
- KANDER, A. (2005).** *Baumol's disease and dematerialization of the economy*. Ecological Economics, 55, 119-130.
- KARLGAARD, Rich (2011).** *3D Printing Will Revive American Manufacturing*. Tech, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/richkarlgaard/2011/06/23/3d-printing-will-revive-american-manufacturing/#34bde7462548> (Acedido a 23 de julho de 2017)
- KÄSSER, Matthias; PADHI, Asutosh; TSCHIESNER, Tschiesner and WEE Dominik (2018).** *Artificial intelligence as auto companies' new engine of value*. Janeiro 2018, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/artificial-intelligence-as-auto-companies-new-engine-of-value> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- KELION, Leo (2017).** *Huawei Mate 10 uses AI to distinguish cats from dogs*. Technology, October 16, 2017. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/41595295> (Acedido a 7 de novembro de 2017)
- KELLY, Gordon (2018).** *Galaxy S9 Vs Galaxy S9 Plus: What's the difference?* Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/gordonkelly/2018/02/25/samsung-galaxy-s9-vs-galaxy-s9-plus-whats-the-difference-upgrade-guide/#6734ab1b69fa> (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- KELLY, Karen D.; SCOTT, Clinton T; POLYAK, Désirée and KIMBALL, Bryan E. (2017).** *Vanadium, Professional Paper 1802-U*. Edited by: Klaus J. Schulz, John H. DeYoung Jr., Robert R. Seal II, and Dwight C. Bradley. UGS - U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802U> (Acedido a 2 janeiro de 2018)
- KENNEDY, Scott, (2015).** *Made in China*. CSIS - Center for Estrategical & International Studies Disponível em: <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025> (Acedido a 1 novembro de 2017)
- KESSEL, Isabel von, (2017).** *The Materials That Make Up The iPhone*, Statista. Aug 17, 2017. Disponível em: <https://www.statista.com/chart/10719/materials-used-in-iphone-6/> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- KHAN, Haseeb A. and SHANKER, Rishi (2015).** *Toxicity of Nanomaterials*. Biomed Res Int. 2015; 2015: 521014. Published online 2015 May 20. doi: 10.1155/2015/521014, NCBI. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4452829/> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018).
- KHAN, Haseeb A. and SHANKER, Rishi (2015).** *Toxicity of Nanomaterials*. Biomed Res Int. 2015; 2015: 521014. Published online 2015 May 20. doi: 10.1155/2015/521014, NCBI Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4452829/> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018).
- KHARPAL, Arjun (2017).** *Apple pledges to make products like the iPhone from only recycled material and end mining*. Tech, CNBC. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2017/04/20/apple-mining-end-recycled-material-products.html> (Acedido a 13 de agosto de 2017)
- KHAZZOOM, J.D. (1980).** *Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances*, Energy Journal, 1 (4), 21-40.
- KILEY, David (2016).** *Why Automakers are anxious to get onboard with ride sharing*. Autos, Big Business. Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/davidkiley5/2016/05/25/why-automakers-are-anxious-to-buy-and-link-to-ride-sharing/#4fb179a32041> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- KING, Hobart M. (2018).** *Diatomite. The sedimentary rock used as a filter, absorbent, filler, abrasive, and more*. Geology.com, Geoscience News and Information. Disponível em: <https://geology.com/rocks/diatomite.shtml> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- KLEIN, Cornelis and HURLBUT Jr., Cornelius S. (1985).** *Manual of Mineralogy*, Wiley, 1985, 20th ed., p. 360, ISBN 0-471-80580-7
- KLOCHKO, Kateryna (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Antimony*. pp.22-23, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- KLOCHKO, Kateryna (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Bismuth*. pp.34-35, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)

- KLOCHKO, Kateryna (2018c).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Lead*. pp.94-95, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de Andrade e HERNANDEZ, José Anzaldo (2013).** *Polpa e Papel*. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências agrárias; Departamento de Engenharia Tecnologia Florestal. 3ª edição revisada. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- KLOTZ, J. H.; MOSS, J. I.; ZHAO, R.; DAVIS Jr., L. R.; PATTERSON, R. S. (1994).** *Oral toxicity of boric acid and other boron compounds to immature cat fleas (Siphonaptera: Pulicidae)*. J. Econ. Entomol. 87 (6): 1534-1536. PMID 7836612
- KOETSIER, John (2015).** *TUNE. The sharing economy has created 17 billion-dollar companies (and 10 unicorns)*. VB Profiles. Disponível em: <https://venturebeat.com/2015/06/04/the-sharing-economy-has-created-17-billion-dollar-companies-and-10-unicorns/> (Acedido a 1 de Junho de 2017)
- KOHTALA, Cindy (2015).** *Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review*. Journal of Cleaner Production, Volume 106, 1 November 2015, Pages 654-668, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261400969X> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- KOHTALA, Cindy and HYYSALO, Sampsa (2015).** *Anticipated environmental sustainability of personal fabrication*. Journal of Cleaner Production, Volume 99, 15 July 2015, Pages 333-344, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002589> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Komatsu (2017).** *Industries*. Komatsu Europe International N.V. Disponível em: <https://www.komatsu.eu/en/Industries> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- KONDOR, S.; GRANT, G.; LIACOURAS, P.; SCHMID, J.; PARSONS, M.; RASTOGI, V.; SMITH, L.; MACY, B.; SABART, B. and MACEDONIA, C. (2013).** *On Demand Additive Manufacturing of a Basic Surgical Kit*, Journal Medical Devices 7(3), 030916 (Jul 03, 2013) (2 pages) Paper No: MED-13-1071; doi: 10.1115/1.4024490
- KOREN, Yoram (2010).** *The Global Manufacturing Revolution. Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. The University of Michigan. Published by John Wiley; ISBN: 978-0-470-58377-7. Disponível em: <http://adrge.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/50/2013/08/12pgbook.pdf> (Acedido a 4 junho de 2017)
- KOREN, Yoram; WANG, W. and GU X. (2016).** *Value creation through design for scalability of reconfigurable manufacturing systems*. International Journal of Production Research 55 (5), 1227-1242, Published by Taylor & Francis, Feb, 2016, Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1145821> (Acedido a 20 julho de 2017)
- KORKEAMÄKIE, Timo and TAKALO, Tuomas (2012).** *Valuation of innovation: The case of iPhone*. Bank of Finland Research, Discussion Papers, 24.2102DocPlayer. Disponível em: <http://docplayer.net/13205279-Timo-korkeamaki-tuomas-takalo-valuation-of-innovation-the-case-of-iphone.html> (Acedido a 28 de fevereiro de 2016)
- KOSTICK, Dennis S. (2008).** *Mineral Commodity Summaries - Boron*, pp.38-39, U.S. Geological Survey, January 2008 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/mcs-2008-boron.pdf> (Acedido a 20 de setembro de 2016).
- KRAMER, Andrew E. (2013).** *Titanium Fills Vital Role for Boeing and Russia*. The New York Times, July 2013. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2013/07/06/business/global/titanium-fills-vital-role-for-boeing-and-russia.html> (Acedido a 2 de abril de 2017).
- KRAMER, Deborah A. (2001).** *Magnesium, its alloys and Compounds*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 01-341. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-341/of01-341.pdf> (Acedido a 28 dezembro de 2016)
- KRAUSMANN, Fridolin; GINGRICH, Simone; EISENMENGER, Nina; ERB, Karl-Heinz; HABERL, Helmut and FISCHER-KOWALKI, Marina (2009).** *Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century*. Ecological Economics, 68(10), 2696-2705.
- KREBS, Robert E. (2006).** *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide* (2nd ed.). Westport, CT: Greenwood Press. ISBN 0-313-33438-2.
- KROHNS, S. et al. (2017).** *Abundance and early thinking essential for raw materials sustainability. Benefits of resource strategy for sustainable materials research and development," Sustainable Materials and Technologies*. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/sustainable-materials-and-technologies>

materials-and-technologies/highlighted-articles/abundance-and-early-thinking-essential-for-raw-materials-sus esthag (Acedido a 16 de fevereiro de 2018)

- KRUGMAN, Paul (2015).** *The Big Meh*, *The New York Times*. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2015/05/25/opinion/paul-krugman-the-bigmeh.html?partner=rss&emc=rss&r=2> (Acedido a 11 de maio de 2016).
- Kurzweil (2018).** *Amazon Go*. Kurzweil News. Accelerating Intelligence. 22 January, 2018. Disponível em: http://www.kurzweilai.net/amazons-store-of-the-future-opens?utm_source=KurzweilAI+Daily+Newsletter&utm_campaign=0f85df0d4b-UA-946742-1&utm_medium=email&utm_term=0_6de721fb33-0f85df0d4b-281887109 (Acedido a 25 de Janeiro de 2008)
- LACY, Peter and RUTQVIST, Jakob (2015).** *Waste to Wealth: Creating advantage in a circular economy. Waste to Wealth examines how the circular economy is disrupting the way we produce and consume products*. 1st ed. 2015. Published by Palgrave Macmillan. Accenture Strategy. Disponível em: <https://www.accenture.com/us-en/insight-creating-advantage-circular-economy> (Acedido a 17 de Junho de 2017)
- Laguna Clay (2013).** *Feldspar*, Safety Data Sheet, Laguna Clay Company. Disponível em: <http://www.lagunaclay.com/msds/pdf/3rawmat/adry/mfelmin.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- LAMBERT, Fred (2016).** *Tesla plans a 'shared autonomous fleet' for owners to make money off their car*, *Automakers*, *Alt transport*, *Autonomous driving*, *Energy*, *Electrek*. Disponível em: <https://electrek.co/2016/07/20/tesla-shared-fleet-autonomous-fleet-money-off-their-car/> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- LaMONICA, Martin (2016).** *Additive Manufacturing. GE, the world's largest manufacturer, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts*. MIT Technology Review. Disponível em: <http://www.technologyreview.com/featuredstory/513716/additive-manufacturing/> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- LANG, S.; PUTZ, P. and KOPP, T. (2006).** *Do Maure economies grow exponentially?* arXiv:1601.04028.
- LAVRADOR, Alfredo (2018a).** *Tesla Roadster aquece motores a caminho de Marte*. Observador, 27/1/2018. Disponível em: <http://observador.pt/2018/01/27/tesla-roadster-aquece-motor-es-a-caminho-de-marte/> (Acedido a 28 de janeiro de 2018).
- LAVRADOR, Alfredo (2018b).** *E se comprar um carro fosse tão fácil como uma água ou um chocolate*. Observador. 27/1/2018. Disponível em: <http://observador.pt/2018/01/27/e-se-comprar-um-carro-fosse-tao-facil-como-uma-agua-ou-um-chocolate/> (Acedido a 28 de Janeiro de 2018).
- Le BLANC, Rick (2017).** *E-Waste Recycling Facts and Figures*. Sustainable Businesses, The Balance Updated March 26, 2017 Disponível em: <https://www.thebalance.com/e-waste-recycling-facts-and-figures-2878189> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- LEADBEATER, Charles (2004).** *Personalization through participation*. London Demos.
- LEAL, Ângela (2015).** *O impacto da economia circular na cadeia de valor: o contexto das empresas portuguesas*. I.G.C. Universidade do Minho. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/37694> (Acedido a 17 de Junho de 2017)
- LEGEWIE, Jochen (2014).** *Industry 4.0: Germany rethinks manufacturing*. Business | THE VIEW FROM EUROPE, May 10, 2014. The Japan Times, News. Disponível em: <https://www.japantimes.co.jp/news/2014/05/10/business/industry-4-0-germany-rethinks-manufacturing/#.WoNZUOfLhdg> (Acedido a 20 junho de 2017)
- Lenntech (2018).** *Chemical properties - Health effects - Environmental effects*. Disponível em: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/index.htm> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- LI, Y; RICHARDSON, J.B.; WALKER, A.K. and YOUN P.C. (2006).** *TCLP heavy metal leaching of personal computer components*. Journal of Environmental Engineering, 2006: 497-504.
- LIDE, David R. (1996).** *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Special Student Edition 77 Edition, March 12, 1996 by CRC Press, ISBN 9780849305962
- LIDE, David R. (2005).** *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (86th ed.). Boca Raton (FL): CRC Press. ISBN 0-8493-0486-5.
- LIM C.H.; HAN J.H.; CHO H.W. and Kang M. (2014).** *Studies on the Toxicity and Distribution of Indium Compounds According to Particle Size*, in NCBI, Sprague-Dawley Rats, Toxicol Res. 2014 Mar; 30(1): 55-63. doi: 10.5487/TR.2014.30.1.055 Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4007045/> (Acedido a 20 de Fevereiro de 2018)

- Linked in (2016).** Workforce Spotlight, Jan 2016 Disponível em: <http://linkedin.shorthand.com/2016/january/index.html> (Acedido a 13 de novembro de 2016)
- LIPSON, Hod and KURMAN, Melba, (2010).** *Factory @ Home: The Emerging Economy of Personal Fabrication. One of a Series of Occasional Papers in Science and Technology Policy*, Overview and recommendations. A Report commissioned by the US Office Science and Technology Policy. Disponível em: <http://risti.kaist.ac.kr/wp-content/uploads/2013/08/Factory-at-Home-The-Emerging-Economy-of-Personal-Fabrication.pdf> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Lithio Storage (2017).** *A safer and more efficient battery technology*. Disponível em: <https://lithiostorage.com/> (Acedido a 4 de janeiro 2018)
- LOCKE, Richard M. and WELLHAUSEN, Rachel L.(2013).** *PIE - Production in the Innovation Economy*, Disponível em: <http://web.mit.edu/pie/>, <http://web.mit.edu/pie/research/index.html>; http://www.umdcipe.org/conferences/WorkforceDevelopment/Papers/Workforce_Development_Weaver_Mfg_skills_chapter_130911.pdf (Acedido a 13 de maio de 2017).
- LOFERSKI, Patricia J. (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Platinum-Group Metals*. pp.126-127, US Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 2 fevereiro de 2018)
- LOFERSKI, Patricia J. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Platinum-Group Metals*. pp.126-127, US Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 fevereiro de 2018)
- LOKENS GARD, E. (2010).** *Industrial plastics - Theory and applications*. (5th edition). New York: Delmar, Congage Learning.
- LORD, Rick; KAO, Grace; JOSHI, Siddhartha; GAUTHAM, P.; BARTLETT, Caroline; BULLOCK, Steven; BURKS, Beth; BALDOCK, Christopher and AIRD, Sarah (2016).** *Plastics and Sustainability: A valuation of Environmental Benefits, Costs and Opportunities for Continuous Improvement*. Trucost & American Chemistry Council. Disponível em: <https://plastics.americanchemistry.com/Plastics-and-Sustainability.pdf> (Acedido a 5 de março de 2018)
- Loughborough University (2017).** About Additive Manufacturing - The 7 Categories of Additive Manufacturing. Additive Manufacturing Research Group. Disponível em: <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing> (Acedido a 11 de setembro de 2017)
- LOVINS, Amory B. (2017).** *Reinventing fire: Physics + Markets = Energy Solutions*. Rocky Mountain Institute Disponível em: https://d231jw5ce53gcq.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/04/OCS_ReinventingFire_Physics_Markets_Energy_Solutions_2014.pdf (Acedido a 12 de fevereiro de 2018)
- LOWE, D. O.; KNOWLES, S. R.; WEBER E.A.; RAILTON C.J. and SHEAR N.H. (2006).** *Povidone-iodine-induced burn: case report and review of the literature*. Pharmacotherapy. 26 (11): 1641-5. doi:10.1592/phco.26.11.1641. PMID 17064209.
- Lulea University (2018).** Disponível em: <http://www.ltu.se/ltu/lib/Soka/Databaser-artiklar-m-m?l=en> (Acedido a 2 de março de 2018)
- LUZ, Adão B. e COELHO, José M. (2005).** *Feldspato*. Rochas Minerais Industriais - CETEM/2005. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1055/1/19.FELDSPATO.ok.pdf>
- LYMAN, Peter Lyman and VARIAN, Hal R. (2003).** *How Much Information?* School of Information Management and Systems, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, 2003); Disponível em: <http://groups.ischool.berkeley.edu/archive/how-much-info-2003/> (Acedido a 6 de janeiro de 2018)
- MAASS, Arthur (2013).** *Resources for Freedom, A Report to the President by the President's Materials Policy Commission*, (1952. Vol. I, Foundations for Growth and Security; Vol. II, The Outlook for Key Commodities; Vol. III, The Outlook for Energy Sources; Vol. IV, The Promise of Technology; Vol. V, Selected Reports to the Commission. (Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office. Volume 47, Issue 1, March 1953, pp. 206-210, Cambridge University Press, Cambridge Core. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/american-political-science-review/article/resources-for-freedom-a-report-to-the-president-by-the-presidents-materials-policy-commission-1952-vol-i-foundations-for-growth-and-security-vol-ii-the-outlook-for-key-commodities-vol-iii-the-outlook-for-energy-sources-vol-iv-the-promise-of-technology-vol-v-selected-reports-to-the-commission-washington-d-c-u-s-government-printing-office-1952-pp-vi-184-210-43-x-228-154-125-150-50-175-125/B52B7B72A5EE6C649766253732C275BB> (Acedido a 3 janeiro de 2018)
- MacDOUGALL, William (2014).** *Industrie 4.0 - Smart Manufacturing for the future*. GTAI - Germany Trade & Investment. Germany. Disponível em: https://www.gtai.de/GTAI/Content/EN/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/Industries/industrie4.0-smart-manufacturing-for-the-future-en.pdf (Acedido a 3 de maio de 2017)

- MacFADDEN, Todd and VOGEL, Michael P. (1996).** *Facts About Paper*. Printers' National Environmental Assistance Center, June. Montana State University.
- MacMILLAN, J. Paul; PARK, Jai Won; GERSTENBERG, Rolf; WAGNER, Heinz; KÖHLER, Karl and WALLBRECHT, Peter (2002).** *Strontium and Strontium Compounds*, in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a25_321. (Acedido a 6 de março de 2018)
- Madehow (2007).** *Zirconium*. How Products Are Made. Advameg Inc. 2007. Disponível em: <http://www.madehow.com/Volume-1/Zirconium.html> (Acedido a 4 de dezembro de 2017).
- Madehow (2018).** *How products are made - Telephone*. Disponível em: <http://www.madehow.com/volume-5/Telephone.html#ixzz55VrSe7Ye> (Acedido a 28 de janeiro de 2018)
- MADEN, Eti (2013).** *Use of Boron in Fiberglass and Specialty Glass*. Discussion of various types of boron addition to glass fibers in fiberglass. Eti Maden, Eti Mine USA Inc. Disponível em: <http://www.etimineusa.com/en/applications-fiberglass-and-specialty-glass> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- MAGGE, C.L. and DEVEZAS, T. (2016).** *A simple extension of dematerialization theory: Incorporation of technical progress and the rebound effect*. arXiv: 1602.00090, 26 pgs (to be published in Technological Forecasting & Social Change).
- MAIDIN, S. Bin; CAMPBELL, R. I. and PEI, E. (2012).** *Development of a design feature database to support design for additive manufacturing*. Assembly Automation, 32 (3), PP. 235-244. Loughborough University Institutional Repository. Disponível em: <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/11199/6/PUB%20LDS%20782%20Development%20of%20a%20design%20feature.pdf> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- MALENBAUM, W. (1978).** *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*, McGraw Hill, New York
- MALENBAUM, Wilfred (1978).** Publisher: McGraw-Hill Inc., US (1 January 1978)- ISBN-10: 0070397899
- MALTHUS, Thomas (1798).** *An Essay on the Principle of Population*, London, Printed for J. Johnson, in St. Paul's Church-Yard Disponível em: <http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf> (Acedido a 1 de Março de 2018)
- MANGAN, Andrew (2016).** *Is 'materials matching' the new weapon in the climate war?* Environment and Natural Resource Security, WEF. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2016/03/is-materials-matching-the-new-weapon-in-the-climate-war?utm_content=buffera4989&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 1 Março de 2018)
- ManuFuture - EU (2017).** *Assuring the future of a competitive and sustainable manufacturing in Europe*. Disponível em: <http://www.manufuture.org/manufacturing/> (Acedido a 6 junho de 2017)
- MANYIKA James; BUGHIN, Jacques; LUND, Susan; NOTTEBOHM, Olivia; POULTER, David; JAUCH, Sebastian and RAMASWAMY, Sree (2014).** *Global flows in a digital age*. Report - McKinsey Global Institute. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/global-flows-in-a-digital-age> (Acedido a 3 de novembro de 2016)
- MANYIKA, James; LUND, Susan; BUGHIN, Jacques; WOETZEL, Jonathan; STAMENOV, Kalin and DHINGRA, Dhruv (2016).** *Digital globalization; The new era of global flows*. Report - McKinsey Global Institute (MGI). Disponível em: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/digital-globalization-the-new-era-of-global-flows> (Acedido a 14 de Junho de 2016)
- MANZINI, Ezio (1993).** *A matéria da Invenção*. Centro Português do Design, Coleção Design, Tecnologia e Gestão, p17-18. Porto Editora, Porto.
- MAO, Yiqi; DING, Zhen; YUAN, Chao; AI, Shigang; ISAKOV, Michael; WU, Jiangtao; Wang, Tiejun and DUNN, Martin L. (2016).** *3D Printed Reversible Shape Changing Components with Stimuli Responsive Materials*. *Scientific Reports* 6, Article number: 24761. doi:10.1038/srep24761. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep24761> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- MARCHAND, Claire (2015).** *Business expansion, global cooperation*, Business expansion, global cooperation, Interview with Hirozumi Sone, President & CEO, Azbil Corporation. IEC By News & Views from the IEC. Disponível em: <https://ieccotech.org/issue/2015-05/Business-expansion-global-cooperation> (Acedido a 1 de agosto de 2017)
- MARIN, Phillippe; TAL, Shimon Tal; YERES, Joshua and Ringskog, Klas (2017).** *Water management in Israel, Key Innovations and Lessons Learned for water-Scarce Countries*. August, 2017. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/657531504204943236/pdf/119309-WP-PUBLIC-56p-Wcm-peProof.pdf> (Acedido a 5 de outubro de 2017)

- MARR, Bernard (2016).** *A Short History of Machine Learning - Every Manager Should Read*. February 19, 2016. Big Data, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/02/19/a-short-history-of-machine-learning-every-manager-should-read/#23ab7e3a15e7> (Acedido a 30 de outubro de 2017)
- Martin Ford (2015).** *Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future*. Published by Basic Books, Member of the Perseus Books Group. ISBN 978-0-465-05999-7 (hardback) — ISBN 978-0-465-04067-4 (e-book), New York. Disponível em: https://www.uc.pt/feuc/citcoimbra/Martin_Ford-Rise_of_the_Robots (Acedido a 1 de Janeiro de 2018)
- MATSUNO, H.; YOKOYAMA, A.; WATARI, F.; UO, M.; KAWASAKI, T. (2001).** *Biocompatibility and osteogenesis of refractory metal implants, titanium, hafnium, niobium, tantalum and rhenium*. Biocompatibility of tantalum. *Biomaterials*. 22 (11): 1253-62. doi:10.1016/S0142-9612(00)00275-1. PMID 11336297.
- MAXIM, L.D.; NIEBO, R.; UTELL, M.J.; McCONNELL, E.E.; LAROSA, S. and SEGRAVE, A.M. (2014).** *Wollastonite toxicity: an update*. *NCBI. Inhal Toxicol*. 2014 Feb;26(2):95-112. doi: 10.3109/08958378.2013.857372. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24495246> (Acedido a 21 de dezembro de 2017).
- McGowan Institute for Regenerative Medicine (2017).** *Medical devices and artificial organs*. Disponível em: <http://www.mirm.pitt.edu/our-research/focus-areas/medical-devices-and-artificial-organs/> ; <http://www.mirm.pitt.edu/about-us/what-is-regenerative-medicine/> (Acedidos a 14 de outubro de 2017)
- McKinsey & Company (2017).** *How the auto industry is preparing for the car of the future*. December 2017, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-the-auto-industry-is-preparing-for-the-car-of-the-future> (Acedido a 2 de fevereiro de 2018)
- McRAE, Michele E. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Feldspar and Nepheline Syenite*, pp 60-61, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de Janeiro de 2018)
- McRAE, Michele E. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Fluorspar*, pp. 62-63, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de Janeiro de 2018).
- McRAE, Michele E. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Barite*, pp. 28-29, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- MDALFAVERO (2016).** *Announcing Manufacturing USA.com, the new website for Manufacturing USA*, National Advanced Manufacturing Portal. Disponível em: <https://www.manufacturing.gov/announcing-manufacturingusa-com-the-new-website-for-manufacturing-usa/>, <http://www.manufacturing.gov/welcome.html> (Acedido a 23 outubro de 2017)
- MEIER, S. M.; GUPTA, D. K. (1994).** *The Evolution of Thermal Barrier Coatings in Gas Turbine Engine Applications*. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. 116: 250. doi:10.1115/1.2906801
- MEIJA, Juris; COPLEN, Tyler B.; BERGLUND, Michael; Willi A. Brand; De BIÈVRE, Paul; GRÖNING, Manfred; HOLDEN, Norman E.; IRRGEHER, Johanna; LOSS, Robert D.; WALCZYK, Thomas and PROHASKA, Thomas (2016).** *Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report)*. *Pure and Applied Chemistry*. De Gruyter, *Pure Appl. Chem*. 2016; 88(3): 265-291; 88 (3): 265-91. doi:10.1515/pac-2015-0305. Disponível em: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/pac.2016.88.issue-3/pac-2015-0305/pac-2015-0305.pdf> (Acedido a 25 de Janeiro de 2018)
- MEKONNEN, Mesfin M. and HOEKSTRA, Arjen Y. (2016).** *Four billion people facing severe water scarcity*. *Science Advances*, 12 Feb 2016: Vol. 2, no. 2, e1500323 DOI: 10.1126/sciadv.1500323, Disponível em: <http://advances.sciencemag.org/content/2/2/e1500323.full> (Acedido a 22 de outubro de 2016)
- M-era.Net (2017).** Disponível em: <https://www.m-era.net/> (Acedido em abril de 2017)
- MERGELL, Jen F. (2018).** *Crystal Guidance - Garnet*. Crystal Caution List. Disponível em: <http://www.crystalguidance.com/articles/crystalcautionlist.html> (Acedido a 10 de fevereiro de 2018)
- Merriam Webster (2017).** *Definition of crowdsourcing*. Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/crowdsourcing> (Acedido a 23 de dezembro de 2017)
- Metamorphic Rocks (2007).** *Metamorphic Rocks Information in Wayback Machine*. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20070701111134/http://seis.natsci.csulb.edu/bperry/ROCKS.htm> (Acedido a 19 de Janeiro de 2018).

- METI journal (2015).** *Japanese Factories Connected Together, “The next innovation” in manufacturing (monozukuri) is coming!* Thought IoT pp.4-13. Disponível em: http://www.meti.go.jp/english/publications/pdf/journal2015_05a.pdf (Acedido a 15 junho de 2017)
- MEUNIER, P. J.; ROUX, C.; SEEMAN, E.; ORTOLANI, S.; BADURSKI, J. E.; SPECTOR, T. D.; CANNATA, J.; BALOGH, A.; LEMMEL, E. M.; PORS-NIELSEN, S.; RIZOLLI, R.; GENANT, H. K.; REGINSTER, J. Y. (2004).** *The effects of strontium ranelate on the risk of vertebral fracture in women with postmenopausal osteoporosis.* New England Journal of Medicine. (January 2004). 350, DOI: 10.1056/NEJMoa022436
- Microlinks (2015).** *Value Chain Development Wiki.* Disponível em: <https://microlinks.org/good-practice-center/value-chain-wiki> (Acedido a 30 de agosto de 2017)
- Microsoft (2017).** *The world’s biggest Public Companies,* Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/microsoft/> (Acedido a 24 de dezembro de 2017)
- MILLER, M. Michael (2011).** *Mineral Commodity Summaries 2008 - Fluorspar,* pp.56-57, U.S. Geological Survey, january 2008 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/fluorspar/mcs-2011-fluor.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- MILLER, Ron and CONSTINE, Josh (2015).** *Apple Acquires Augmented Reality Company Metaio.* TechCrunch - TC News. Disponível em: <https://techcrunch.com/2015/05/28/apple-metaio/> (Acedido a 1 de Janeiro de 2018)
- MILUSKI, Piotr; KOCHANOWICZ, Marcin; ZMOJDA, Jacek; SILVA, Abílio P.; REIS, Paulo B. and DOROSZ, Dominik (2015).** *Carbon laminates with Red oped optical fibre sensors,* ICEUBI 2015, Open Eng .2016;6:385-388; DOI10.1515/eng-2016-0058. Citando ‘SHIMOKAWA, T.and HAMAGUCHI, Y. (1983). *Distributions of fatigue life and fatigue strength hinnotched specimens of a carbon eight-harness-satin laminate,* J Compos Mater 1983,17,64-76.
- Minerals UK (2012).** *British Geological Survey - Rare Earth Elements* [Internet], Natural environment research council, Nottingham (UK) (2011)
- MINGES, Michael (with contributions and guidance from FREDRIKSSON, Torbjörn; KORKA, Diana and SCARLETT. (2016).** *In search of Cross-boarder E-Commerce Trade Data.* UNCTAD Technical Notes on ICT for Development, Nº 6, United Nations/ ICT4D/06 Disponível em: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tn_unctad_ict4d06_en.pdf (Acedido a 9 de Junho de 2017)
- MIT (2011).** *Ask an Engineer. How Do Touch-Sensitive Screens Work?* Massachusetts Institute of Technology, june 7, 2011. Disponível em: <http://engineering.mit.edu/ask/how-do-touch-sensitive-screens-work> (Acedido a 14 de janeiro de 2017)
- MITCHELL, Melanie (2009).** *Complexity, A tour guide.* Oxford University Press. New York, USA Disponível em: http://waltersorrentino.com.br/wp-content/uploads/2012/02/melanie-mitchell-complexity_a-guided-tour-366-paginas.pdf (Acedido a 29 maio de 2017)
- MOISEYEV, Valentin N. (2006).** *Titanium Alloys: Russian Aircraft and Aerospace Applications.* Taylor and Francis, LLC. p. 196. ISBN 978-0-8493-3273-9.
- MOLES, Abraham (1998).** *Criação Científica,* Ed. Perspectiva.
- MORENO, José Carlos (2013).** *Do Analógico ao Digital: Como a digitalização afecta a produção, distribuição e consumo de informação, conhecimento e cultura na Sociedade em Rede.* Observatório (OBS) versão On-line ISSN 1646-5954, vol.7 no.4 Lisboa set. 2013. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-59542013000400006 (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- MORGAN, John W. and ANDERS, Edward (1980).** *Chemical composition of Earth, Venus, and Mercury.* Proc. Natl. Acad. Sci. 77 (12): 6973-6977. Bibcode: 1980PNAS...77.6973M. doi: 10.1073/pnas.77.12.6973. PMC 350422. PMID 16592930.
- MOST, Eric (2013).** *Calling all cell phones - Collecting, reuse and recycling programs in the US.* New York, N.Y. Inform, Inc.48p.
- Motorola (2011).** *Motorola DynaTAC 8000X. Motorola Mobility 2011, Annual Report.* Disponível em: http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-58XVPR/2044382714x0x561829/C636C146-7901-45E3-BC3C-6A82FD06B763/MMI_-_2011_Final_Annual_Report_291113_030.pdf (Acedido a 28 de Janeiro de 2018)
- MRS (2016).** *Products. Mineral Commodities Ltd.* Disponível em: <http://www.mineralcommodities.com/products/> (Acedido a 14 de abril de 2017).
- MSDS (1996).** *Calcium Oxide.* MSDS, Number: C0462. Effective Date: 12/08/96. Disponível em: <http://hazard.com/msds/mf/baker/baker/files/c0462.htm> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)

- MSDS (2017).** *Kyanite*, Safety Data Sheet, Hazards identification. MSDS - Material Safety Data Sheet. Disponível em: <https://www.psh.ca/MSDS/Kyanite%2035-48-100.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- MUSIL, Steve (2015).** *Apple seeks dismissal of battery maker's poaching lawsuit*, C/Net, Tech Industry. Disponível em: <http://www.cnet.com/uk/news/apple-seeks-dismissal-of-battery-makers-poaching-lawsuit/> (Acedido a 8 de março de 2017)
- My article (2012).** *Biography of Stan Shih - Acer Founder*. Disponível em: <http://www.ib-article.com/2013/01/biography-of-stan-shih-acer-founder.html> (Acedido a 11 de setembro de 2017)
- MYERS, Amy and MORSE, Ed (2014).** *The End of OPEC Forty years after the Arab oil embargo, new technologies are dramatically reshaping the geopolitics of the Middle East*. FP Argument. Disponível em: http://gsm.ucdavis.edu/sites/main/files/file-attachments/energy_transformations_and_corporate_strategy_pre-reading.pdf (Acedido a 12 de fevereiro de 2018)
- MyPRSA (2017).** KURZWEIL, Ray in *Forward Thinking: Tech Predictions; Communications Habits*, The Public Relations Strategist, Publications. Disponível em: http://apps.prsa.org/Intelligence/TheStrategist/Articles/view/11882/1141/Forward_Thinking_Tech_Predictions_Communication_Ha#.WnjGJ-GWTnY (Acedido a 3 de fevereiro de 2018)
- NAEBE, Minoo and SHIRVANIMOGHADDAM, Kamyar (2016).** *Functionally graded materials: a review of fabrication and properties*. Deakin University, Geelong, Carbon Nexus, Institute for Frontier Materials, Victoria 3216, Australia, Applied Materials today, (5), pp. 223-245, Elsevier. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352940716301214> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- NAGY, B.; FARMER, J. D.; BUI, Q.M. & Trancik, J.E. (2013).** *Statistical basis for predicting technological progress*, PLoS One, 8, 1-7.
- NAHMIA, Steven, (1997).** *Production and Operations Analysis*. (3rd Ed), Irwin, p. 810. Disponível em: <https://trove.nla.gov.au/work/10661006> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Nano Dimension (2016).** *Nano Dimension and Accellta joined forces to successfully BioPrint Stem Cell-Derived Tissues*. Cision, PR NESS ZIONA, Israel, May 25, 2016 /PRNewswire/ Disponível em: <http://www.prnewswire.com/news-releases/nano-dimension-and-accellta-joined-forces-to-successfully-bioprint-stem-cell-derived-tissues-300274572.html> (Acedido a 8 de outubro de 2017)
- Nano Dimension (2017).** *3D Printing with Functional Nano Inks Is Revolutionary*. Disponível em: <http://www.nano-di.com/>, <https://nanodimension.com/portfolio/> (Acedidos em outubro de 2017)
- Nasa News (2017).** *Maturation Study of Biofabricated Myocyte Construct (Maturation Study of Biofabricated Myocyte Construct)*. ISS Science for Everyone, Nasa. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/2635.html (Acedido a 29 de novembro de 2017)
- NAUGHTON, Keith (2015).** *Driverless Cars May Cut U.S. Auto Sales 40%, Barclays Says*. Bloomberg Technology. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-05-19/driverless-cars-may-cut-u-s-auto-sales-by-40-barclays-says> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- NAUMOV, A. V. (2007a).** *Rhythms of rhenium*. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 48 (6): 418-423. doi:10.3103/S1067821207060089
- NAUMOV, A. V. (2007b).** *World market of germanium and its prospects*. Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 48 (4): 265-272. doi:10.3103/S1067821207040049
- Nautilus (1999).** *Platina*. Soft Ciências. Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-p/elem/e07820.html> (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- NAVE, R. (1996).** *Abundances of the Elements in the Earth's Crust*, Georgia State University Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/elabund.html> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- Near Field Communication (2017).** NFC. Welcome to Near Field Communication.org. Disponível em: <http://nearfieldcommunication.org> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- Negócios (2016).** *Diário Económico fecha edição em papel*, Media, 7 de março de 2016. Disponível em: http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/media/detalhe/diario_economico_fecha_edicao_em_papel (Acedido a 1 de fevereiro de 2018)
- NEMAT-NASSER, S., et al. (2005).** *Multifunctional Materials*, Figure 12.2. in *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies*, Bar-Cohen, Y., Ed., CRC Press, 2005.

- New Brunswick Laboratory (2015).** *Phosphate rock*. Safety Data Sheet. U.S. Department of Energy. Disponível em: https://science.energy.gov/-/media/nbl/pdf/price-lists/SDS/SDS-Phosphate_Rock.pdf (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- Nickel Institute (2018).** *Where & Why Nickel is Used*. Disponível em: <https://www.nickelinstitute.org/NickelUseInSociety/AboutNickel/WhereWhyNickelIsUsed.aspx> (Acedido a 31 de janeiro de 2017)
- NICKS, Denver (2016).** *Why there's been a huge decline in drivers's licences for millennials and Gen X*. Money. January 19, 2016. Disponível em: <http://time.com/money/4185441/millennials-drivers-licenses-gen-x/> (Acedido a 17 de janeiro de 2018)
- NIELSEN, Forrest H. (1997).** *Boron in human and animal nutrition. Plant and Soil*. 193 (2): 199-208. doi:10.1023/A:1004276311956.
- NIRMALA, Junko (2016).** *Japan Is Leaping Towards Smart Factory Implementation*. Industrial Robotics, Factory Automation in Robotics Tomorrow - Online Robotics Trade Magazine Industrial Automation, Robots and Unmanned Vehicles. Disponível em: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2016/08/japan-is-leaping-towards-smart-factory-implementation/8599/> (Acedido a 16 junho de 2017)
- NITRD - Networking and Information Technology Research and Development Program (2015).** *The Networking and Information Technology Research and Development Program, Suplemente to the President's Budget*. Fiscal Year 2015. National Science and Technology Council Committee on Technology Committee on Technology National Science and Technology Council. Disponível em: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NITRD_FY15_Final.pdf (Acedido a 11 novembro de 2017)
- NNMI - National Network for Manufacturing Innovation (2017).** *Manufacturing USA*. Disponível em: <https://www.manufacturing.gov/> (Acedido a 23 outubro de 2017)
- NOGRADY, Bianca (2016).** *Your old phone is full of untapped precious metals*. BBC, 18 October 2016. Disponível em: <http://www.bbc.com/future/story/20161017-your-old-phone-is-full-of-precious-metals> (29 de janeiro de 2018)
- Nokia (2017).** *Nokia 8*. Disponível em: http://www.nokia.com/pt_pt/phones/nokia-8 (Acedido a 31 de agosto de 2017)
- NORDELÖF, Anders; MESSAGIE, Maarten; TILLMAN, Anne-Marie; SÖDERMAN, Maria Ljunggren and MIERLO, Joeri Van (2014).** *Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?* Disponível em: 19: 1866. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0> <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0788-0> (Acedido em 16 de fevereiro de 2018).
- NORGATE, Terry and HAQUE, Nawshad (2012).** *Using life cycle assessment to evaluate some environmental impacts of gold*. Journal of Cleaner Production. 29-30: 53-63. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.01.042.
- Norilsk Nickel (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/norilsk-nickel/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Northern District of California ([s.d.]).** *Apple Inc v. Samsung Eletronics LTD*. Inc Selected Case Documents (C 11-1846) (Disponível em: <https://cand.uscourts.gov/C11-1846/casedocs> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- NOWAK, Izabela and ZIOLEK, Maria (1999).** *Niobium Compounds: Preparation, Characterization, and Application in Heterogeneous Catalysis*. Chemical Reviews. 99 (12): 3603-3624. PMID 11849031
- Nvidia (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/nvidia/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- NYQUIST, Scott; ROGERS, Matt and WOETZEL, Jonathan (2016).** *The future is now: How to win the resource revolution*. McKinsey Quarterly, October 2016, McKinsey & Company. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/the-future-is-now-how-to-win-the-resource-revolution> (Acedido em 11 de fevereiro de 2018).
- OECD ([s.d.]).** *Better Life Index*. Disponível em: <http://www.oecdbetterlifeindex.org/> (Acedido a 12 de Abril de 2015)
- OECD iLibrary (2011).** *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2011*. Disponível em: (http://www.oecd-ilibrary.org/sites/sti_scoreboard-2011-en/06/10/index.html?contentTy%20pe=&itemId=%20content%20chapter%20sti_scoreboard-2011-64-en&mimeType=text%20html&containerItemId=%20content%20serial%2020725345&accessItemId) (Acedido a 20 de Julho de 2016)

- OJEDA, Telmo (2013).** *Polymers and the Environment*, Polymer Science, Dr. Faris Yilmaz (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/51057. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/polymer-science/polymers-and-the-environment> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- OKD (2012).** *The types of coal. Coal - a traditional source of energy*. Disponível em: <http://www.okd.cz/en/coal-mining/coal-a-traditional-source-of-energy/the-types-of-coal> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- OLSON, Donald W. (2009).** *Mineral Commodity Summaries 2009 - Graphite (natural)* pp. 70-71, U.S. Geological Survey, January 2009 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2009/mcs2009.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Diamond (Industrial)*, pp. 56-57, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diamond/mcs-2017-diamo.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Graphite (natural)*, pp 74-75, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2017c).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Gemstones* pp. 68-69, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gemstones/mcs-2017-gemst.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Gemstones*, pp 66-67, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de fevereiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Graphite (Natural)*, pp 72-73, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de fevereiro de 2018)
- OLSON, Donald W. (2018c).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Diamonds (Industrial)*, pp 54-55, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de fevereiro de 2018)
- OLSON, O. E. (1986).** *Selenium Toxicity in Animals with Emphasis on Man*. International Journal of Toxicology. 5: 45-70. doi:10.3109/10915818609140736.
- ONU (2013).** *PNUMA e parceiros promovem seminário sobre mercúrio e convenções internacionais de químicos*. Disponível em: <http://web.unep.org/pnuma-e-parceiros-promovem-semin%C3%A1rio-sobre-merc%C3%A1rio-e-conven%C3%A7%C3%B5es-internacionais-de-qu%C3%ADmicos> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- OSHA, (2009).** *Occupational Safety and Health Guidelines for Vanadium Pentoxide*. Occupational Safety and Health Administration. US Department of Labor. Archived from the original on 6 January 2009. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20090106063227/http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/vanadiumpentoxidedust/recognition.html>. (Acedido a 14 de janeiro de 2018)
- OSS, Hendrik G. Van (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Cement*, pp.44-45, U.S. Geological Survey. January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- OSS, Hendrik G. Van (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Cement*, pp.42-43, U.S. Geological Survey. January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de janeiro de 2018).
- OVIDE, Shira e WAKABAYASHI, Daisuke, (2015).** *Apple's share of Smartphone Industry's profits Soars to 92%*, The Wall Street Journal, TechDisponível em: <https://www.wsj.com/articles/apples-share-of-smartphone-industrys-profits-soars-to-92-1436727458> (Acedido a 7 de junho de 2017)
- Oxford (2013).** *Now for the long Term. The Report of the Oxford Martin Commission for Future Generations*, Oxford Martin School, University of Oxford, UK. Disponível em: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/commission/Oxford_Martin_Now_for_the_Long_Term.pdf (Acedido a 30 de abril de 2017)
- Oxford Living Dictionaries (2018).** *Bluetooth*. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/bluetooth> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- PAINTER, Lewis, (2017).** *iCar release date rumours, features and images*, Macworld from IDG. Disponível em: <http://www.macworld.co.uk/news/apple/icar-apple-car-release-date-rumours-news-caros-evidence-patents-3425394/> (Acedido a 22 dezembro de 2017)

- PAIVA, Jorge (2016). *Consequências da devastação florestal*. Público. 16 de Março, 2016. Disponível em: <https://www.publico.pt/2016/03/16/ecosfera/opiniao/consequencias-da-devastacao-florestal-1726206> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- PAKIAM; Ranjeetha (2015). *More Shocks seen Roiling Cpmmodities after Worst Drop since 2008*. Bloomberg Disponível em: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-09-30/morgan-stanley-warns-stunned-commodities-exposed-to-fed-shock> (Acedido a 29 de Novembro 2016)
- PANETTA, Kasey, (2017). *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*. Gartner, Smarter with Gartner. Disponível em: http://www.gartner.com/smar_terwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/ (Acedido a 12 de agosto de 2017)
- PAPP, John F. (2008). *Mineral Commodity Summaries, 2008 - Tantalum*, pp. 168-169, U.S. Geological Survey, January 2008, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/niobium/mcs-2008-tanta.pdf> (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- PAPP, John F. (2017a). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Chromium*, pp.48-49, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de fevereiro de 2018)
- PAPP, John F. (2017b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Niobium*, pp.116-117, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- PATEL, Zh. and KHULKA K. (2001). *Niobium for Steelmaking*. Metallurgist. 45 (11-12): 477-480. doi:10.1023/A:1014897029026
- PATERNÓ, Dario. (1990). *A Administração de Materiais no Hospital*. Compras, Almoxarifado e Farmácia. São Paulo; CEDAS.
- PEARSON, Hannah; NOBLE, Glen and HAWKINS, Joshua (2013). *Re-distributed Workshop Manufacturing Report*, 7-8 November. EPSRC - Engineering and Physical Sciences Research Council & ESRC - Economic and Social Research Council. Disponível em: https://www.epsrc.ac.uk/news_events/pubs/re-distributed-manufacturing-workshop-report/ (Acedido a 17 de setembro de 2017)
- PÉLISSIE DU RAUSAS, Matthieu; MANYIKA, James; HAZAN, Eric; BUGHIN, Jacques; CHUI, Michael and SAID, Rémi (2011). *Internet matters: The Net's sweeping impact on growth, jobs, and prosperity*. By Report McKinsey Global Institute. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/internet-matters> (Acedido a 14 de setembro de 2016)
- PENG, J.; HU, R.-Z. and BURNARD, P. G. (2003). *Samarium-neodymium isotope systematics of hydrothermal calcites from the Xikuangshan antimony deposit (Hunan, China): the potential of calcite as a geochronometer*. Chemical Geology. 200: 129. Bibcode: 2003 ChGeo.200. 129P. doi: 10.1016/S0009-2541(03)00187-6
- Penn State [s.d.]. *Multifunctional Materials and their Impact on Sustainability*. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/eme807/node/698> (Acedido a 6 de março de 2018)
- PEREIRA, José Pacheco (2012). *O fim das Livrarias*, 18 de fevereiro de 2012, Público. Disponível em: <https://www.publico.pt/2012/02/18/jornal/o-fim-das-livrarias-24014656> (Acedido a 23 de agosto de 2015)
- PERNIE, Gwentyth Laird (2011). *Cement Burns*. National Precast Concrete Association/Precast Magazines/Archive - 2004-2008/Cement Burns, NPCA - National Precast Concrete Association. May 29, 2011. Disponível em: <https://precast.org/2010/05/cement-burns/> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- PETERSON, Harley (2017a). *These are the more than 6,300 stores that are shutting down*. Business Insider, MSN. Disponível em: <http://www.msn.com/en-us/money/companies/these-are-the-more-than-6300-stores-that-are-shutting-down/ar-AApg7oB?ocid=sf> (Acedido a 27 de março de 2017).
- PETERSON, Harley (2017b). *Macy's is closing 68 stores — here's where they will shut down*. Bussiness Insider. Disponível em: http://www.businessinsider.com/list-of-macys-stores-closing-2017-1?utm_source=microsoft&utm_medium=referral (Acedido a 2 de março de 2017)
- PETERSON, John and MacDONELL, Margaret (2007). *Zirconium. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas* (PDF). Argonne National Laboratory. pp. 64-65. Disponível em: https://www.remm.nlm.gov/ANL_ContaminantFactSheets_All_070418.pdf (Acedido a 2 de outubro de 2017).
- PEVERILL, K. I.; SPAROW, L. A. and RETUER, Douglas J. (1999). *Soil Analysis: An Interpretation Manual*. Csiro Publishing. pp. 309-311. ISBN 978-0-643-06376-1.

- PHAM, Sherisse (2017).** *Walmart teams up with google to tackle Amazon*. CNN tech. Disponível em: <http://money.cnn.com/2017/08/23/technology/google-walmart-amazon-shopping/index.html>, (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- Pharma Blister (2017).** Roland Eletronic, Produtos especiais. Disponível em: <https://roland-electronic.com/pt-br/produtos/produtos-especiais/pharma-blister-verificacao-de-conteudo/> (Acedido a 29 de novembro de 2017)
- POLYAK, Désirée E. (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Molybdenum*, pp. 112-113, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 29 de janeiro de 2018).
- POLYAK, Désirée E. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Molybdenum*, pp. 110-111, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 29 de janeiro de 2018).
- POLYAK, Désirée E. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Niobium*, pp. 114-115, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 29 de janeiro de 2018).
- POLYAK, Désirée E. (2018c).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Rhenium*, pp. 134-135, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018).
- POLYAK, Désirée E. (2018d).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Vanadium*, pp. 180-181, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- POOL, Ithiel de Sola (1983).** *Tracking the Flow of Information*. Science. 12 Aug 1983: Vol. 221, Issue 4611, pp. 609-613 DOI: 10.1126/science.221.4611.609. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/221/4611/609> (Acedido a 2 de janeiro de 2018)
- PORTER, Frank C. (1991).** *Zinc Handbook*. CRC Press. ISBN 978-0-8247-8340-2.
- POTTER, Michel J. (2000).** *Feldspar and Nepheline Syenite*. USGA - U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/feldspar/260400.pdf> (Acedido a 16 março de 2017)
- PRISCO, Jacopo (2017).** *Why UPS trucks (almost) never turn left*. February 23, 2017, CNN. Disponível em: <https://edition.cnn.com/2017/02/16/world/ups-trucks-no-left-turns/index.html> (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- Public Health (2018).** *Nanomaterials*. Disponível em: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/en/index.htm#1 (Acedido a 10 de Fevereiro de 2018)
- Público (2010).** *Google recebe autorização para produzir energia*. Gigante tecnológico entra no mercado das renováveis Disponível em: <http://www.publico.pt/tecnologia/noticia/google-recebe-autorizacao-para-produzir-energia-1423841> (Acedido a 30 de Abril de 2017)
- Público, (2015).** *Amazon lança botão que faz encomendas a partir da despensa de casa*. Futuro, Público online. Disponível em: <http://p3.publico.pt/vicios/hightech/16285/amazon-lanca-botao-que-faz-encomendas-partir-da-despensa-de-casa> (Acedido a 2 de janeiro de 2017)
- PURCHASE, Nigel G. and FERGUSON, Jack E. (1986).** *Lead in teeth: The influence of the tooth type and the sample within a tooth on lead levels*. Science of The Total Environment, Volume 52, Issue 3, July 1986, Pages 239-250. Elsevier. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(86\)90124-5](https://doi.org/10.1016/0048-9697(86)90124-5) (Acedido a 1 de janeiro de 2018)
- PWC (2017).** *Sizing the prize, What's the real value of AI for your business and how can you capitalize?* Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/analytics/assets/pwc-ai-analysis-sizing-the-prize-report.pdf> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- PwC (2017a).** *Digital Transformation*. Pwc - PricewaterhouseCoopers Analysis, Deutschland. Disponível em: <http://www.pwc.de/de/digitale-transformation/smart-factory-setzt-sich-in-deutschland-nur-langsa-m-durch.jhtml> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- PwC (2017b).** *Sizing the prize. What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?* PwC AI specialists. Price water house Coopers Analysis, www.pwc.com/AI. Disponível em: <http://preview.thenewsmarket.com/Previews/PWC/DocumentAssets/476830.pdf> (Acedido a 1 de Janeiro de 2018)
- RADICATI, Sara (2011).** *Email Statistics Report, 2011-2015*. The Radicati Group, INC. Disponível em: <http://radicati.com/wp/wp-content/uploads/2011/05/Email-Statistics-Report-2011-2015-Executive-Summary.pdf> (Acedido a 3 de outubro de 2012).

- RAI, Sonam and NELLIS, Stephen (2018).** *Apple plans biggest iPhone yet for 2018: Bloomberg*. February 26, 2018. Business News | Reuters. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-apple-iphone/apple-plans-biggest-iphone-yet-for-2018-bloomberg-idUSKCN1GA2CL> (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- RAILSBACK, L. Bruce (2017).** *Abundance and form of the most abundant elements in Earth's continental crust* Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry. (PDF). Department of Geology, University of Georgia, Athens, Georgia 30602-2501 U.S.A. Disponível em: <http://www.gly.uga.edu/railsback/Fundamentals/ElementalAbundanceTableP.pdf> (Acedido a 20 de janeiro 2018)
- RAIS (1995).** *Risk Assessment Information System Toxicity Summary for Manganese*. Risk Assessment Information System, Oak Ridge National Laboratory. Disponível em: <https://rais.ornl.gov/tox/profiles/mn.html> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- Rakuten (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/rakuten/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- RANDALL, Tom (2017).** *Tesla's Solar Roof Pricing Is Cheap Enough to Catch Fire*. Climate Changed, Bloomberg. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-05-10/tesla-s-solar-roof-is-finally-ready-for-you-to-buy> (Acedido a 5 de julho de 2017).
- RANGER, Steve (2015).** *iOS versus Android. Apple App store versus Google play: here comes the next battle in the app wars*. January 16, 2015. ZDNET. Disponível em: <http://www.zdnet.com/article/ios-versus-android-apple-app-store-versus-google-play-here-comes-the-next-battle-in-the-app-wars/> (Acedido a 29 de fevereiro de 2016)
- RAPP, Nicolas and O'KEEFE, Brian (2018).** *These 100 companies are leading the world in artificial intelligence*, janeiro 10, 2018. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/these-100-companies-are-leading-the-world-in-artificial-intelligence/> (Acedido a 7 de fevereiro de 2018)
- RASSWEILER, Andrew; LAM, Wayne and SCHNEEMANN (2017).** *IHS Markit Teardown Reveals What Higher Apple iPhone 8 Plus Cost Actually Buys*. | September 25, 2017. Disponível em: <https://technology.ihs.com/595738/ihs-markit-teardown-reveals-what-higher-apple-iphone-8-plus-cost-actually-buys> (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- RAUNER, Von Max (2016).** *Wenn ich mit euch fertig bin, seid ihr ein Joghurt*. s.l. : Industrie 4.0, Zeit Online, Nr. 1. Disponível em: <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2016/01/industrie-4-0-kuenstliche-intelligenz-maschinen> (Acedido a 2 de setembro de 2017).
- RAYNAUD, Julie (2014).** *Valuing Plastics: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry*. Executive Summary. UNEP Disponível em: http://www.plasticdisclosure.org/assets/files/Valuing_Plastic/Valuing_Plastic-Executive_Summary.pdf (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- RedOrbit (2018).** *The History of Mobile Phone Technology*. RedOrbit. Disponível em: <http://www.redorbit.com/reference/the-history-of-mobile-phone-technology/> (Acedido a 28 de janeiro de 2018)
- REGINSTER, J.Y.; Seeman, E.; De VERNEJOU, M.C.; ADAMI, S.; COMPSTON, J.; PHENEKOS, C.; DEVOGELAER, J. P.; DIAZ, Curiel, M.; SAWICKI, A.; GOEMAERE, S.; SORENSEN, O. H.; FELSENBURG, D.; MEUNIER, P. J. (2005).** *Strontium ranelate reduces the risk of nonvertebral fractures in postmenopausal women with osteoporosis: treatment of peripheral osteoporosis. (TROPOS) study*. J Clin Metab. 90: 2816-22.
- REICH, Robert (2015).** *Why automation means we need a new economic model*. University of California at Berkeley: Work. World Economic Forum. Disponível em: https://agenda.weforum.org/2015/03/why-automation-means-we-need-a-new-economic-model/?utm_content=buffer98bf4&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 2 janeiro de 2017).
- REINHOLD ACHATZ, Klaus Beetz; BROY, Manfred; DÄMBLES Heinrich; DAMM, Werner; GRIMM, Klaus; LIGGESMEYER and Peter Liggesmeyer (2009).** *National Roadmap Embedded Systems*. Frankfurt. ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Disponível em: http://netzwerk-zukunft-industrie.de/wp-content/uploads/2016/01/Anlage-3_Nationale-Roadmap-Embedded-System-s.pdf (Acedido a 15 de maio de 2016)
- Reuters (2017).** *Sixt says DriveNow cooperation with BMW to open in Helsinki. Cyclical Consumer Goods*. Reuters staff Disponível em: <http://www.reuters.com/article/sixt-bmw-drivenow/sixt-says-drivenow-cooperation-with-bmw-to-open-in-helsinki-idUSL8N1ID3SH> (Acedido a 16 de Junho de 2017)
- REUZEL, P.G.; BRUIJNTJES, J.P.; FERON V.J. and WOUTERSEN R.A. (1991).** *Subchronic inhalation toxicity of amorphous silicas and quartz dust in rats*. NCBI, Food Chem Toxicol. 1991 May;29(5):341-54. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1648030> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).

- Rheochem (2017).** *Barite (barium sulfate)*. ADG CODE, Material Safety Data Sheet, Scribd. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/118557455/Barite-barium-sulfate> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- RIESS, Christoph (2011).** *World Press Trends 2011*. WTF - Wan-IFRA. Disponível em: <http://www.wan-ifra.org/> or http://www.thehindu.com/migration_catalog/article13524606.ece/BINARY/World%20Press%20Trends%202011%20by%20Christoph%20Riess (Acedido a 10 de janeiro de 2018)
- RIM, Kyung Taek; HOKOO, Kwon and SunPark, Jung (2013).** *Toxicological Evaluations of Rare Earths and Their Health Impacts to Workers: A Literature Review*. OSHRI, Science Direct, Safety and Health at Work. Volume 4, Issue 1, March 2013, Pages 12-26, Disponível em: <https://doi.org/10.5491/shaw.2013.4.1.12> (Acedido a 24 de Maio de 2016)
- Rio Tinto (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/rio-tinto/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- RIZZUTO, Pat (2014).** *Nine Substances of Very High Concern Listed Under REACH, 10 Others Nominated*, Bloomberg News, August 25, 2014. Disponível em: <https://www.bna.com/nine-substances-high-n17179894131/> (Acedido a 23 de janeiro de 2018)
- ROHRBECK, René and SCHWARZ, Jan Oliver (2013).** *The Value Contribution of Strategic Foresight: Insights from an Empirical Study on Large European Companies*. Aarhus BSS, Aarhus University e da EBS Universität für Wirtschaft und Recht EBS - Business School, SSRN, Technological Forecasting and Social Change, 80(8), 1593-1606.
- ROHRIG, Brian (2015).** *Smartphones: Smart Chemistry*. May 2015, ACS - American Chemistry Society. Disponível em: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2014-2015/smartphones.html> (Acedido a 29 de janeiro de 2018)
- ROSA, Mayra (2014).** *8 causas principais de desmatamento*. Ciclo Vivo, Por um mundo melhor, 7 de maio de 2014, Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/8-principais-causas-do-desmatamento-no-mundo/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- RUBIN, J. (2012).** *The end of Growth*. Canada: Random House.
- RÜBMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal and HARNISCH, Michael (2015).** *Industry 4.0 - The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. BCG - The Boston Consulting Group. Disponível em: <https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> (Acedido a 4 de dezembro de 2017)
- RUPPENTHAL, Janis Elisa (2013).** *Toxicologia*. UFSM- Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-SR, Colégio Técnico Industrial. E-Tec Brasil. Disponível em: http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_seguranca/sexta_etapa/toxicologia.pdf (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- RYDLEWSKI, Carlos (2011).** *As 10 florestas mais devastadas do planeta*. Iniciativa Sustentável. Negócios. Disponível em: <http://colunas.revistaepocanegocios.globo.com/empresaverde/2011/02/02/ano-internacional-das-florestas-oficializado-pela-onu-tem-um-desafio-salvar-as-10-mais-devastadas-do-mundo/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- SAHA, A. (2005).** *Thallium toxicity: A growing concern*. Indian J Occup Environ Med 2005; 9:53-56
- SAKO, Mari (2001).** *Between Bit Valley and Silicon Valley: Hybrid Forms of Business Governance in the Japanese Internet Economy*. December 2001. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7b34/cb7854738e1ac3ee1311557b9623594d89c9.pdf> (Acedido a 9 de agosto de 2016)
- SALONITIS, Konstantinos and AL ZARBAN, Saeed (2015).** *Redesign Optimization for Manufacturing Using Additive Layer Techniques*. Procedia CIRP, Volume 36, 2015, Pages 193-198, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115004321> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- SAMAL A.C.; BHATTACHARYA P.; MALLICK A.; ALI M.M.; PYNE J. and SANTRA S.C. (2015).** A study to investigate fluoride contamination and fluoride exposure dose assessment in lateritic zones of West Bengal, India. Environ Sci Pollut Res Int. 2015, April 22 (8): 6220-9. Medicine
- SANDERSON, Henry and HUME, Neil (2017).** *Cobalt stand-off key to future of electric vehicles*, october 17, 2017, Electric Vehicles, Financial Times. Disponível em: <https://www.ft.com/content/ebf70f78-b014-11e7-aab9-abaa44b1e130> (Acedido a 7 de fevereiro de 2017)
- SANDERSON, Henry; RAVAL, Anjali and SHEPPARD, David (2015).** *Explainer: Why commodities have crashed*. China, august 24, 2015, London. Financial Times Disponível em: <https://www.ft.com/content/459ef70a4a43-11e5-b558-8a9722977189?segid=0100320#axzz3jk0PNJli> (Acedido a 7 maio de 2017)

- SANTOS, Carlos F.L.; SILVA, Abílio P. Silva, Lopes, Luis; PIRES, Inês e CORREIA, Ilídio (2012). *Design and production of sintered β -tricalcium phosphate 3D scaffolds for bone tissue regeneration*. Materials Science and Engineering C 32 (2012) 1293-1298 Elsevier. Doi:10.1016/j.msec.2012.04.010
- SCHAFFARTZIK, Anke; MAYER, Andreas; GINGRICH, Simone; EISENMENGER, Nina; LOY, Christian and KRAUSMANN, Fridolin (2014). *The global metabolic transition: Regional patterns and trends of global material flows, 1950-2010*. Global Environmental Change Volume 26, May 2014, Pages 87-97, Elsevier, Science Direct <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801400065X#bib0160> (Acedido a 15 de Novembro de 2017)
- SCHNEBELE, Emily K. (2016). *Iodine (Advance Release)*. 2015 Minerals Yearbook, october, 2016. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iodine/myb1-2015-iodin.pdf> (Acedido a 14 dezembro de 2017)
- SCHNEBELE, Emily K. (2017a). *Mineral Commodity Summaries - Iodine*, pp. 82-83 U.S. Geological Survey, january 2012, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 20 de outubro de 2017)
- SCHNEBELE, Emily K. (2017b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Nickel*, pp.114-115, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- SCHNEBELE, Emily K. (2017c). *Mineral Commodity Summaries - Selenium*, pp. 148-149, U.S. Geological Survey, january 2017, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 27 de outubro de 2017)
- SCHNEBELE, Emily K. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Bromo*, pp.38-39, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018)
- SCHNEBELE, Emily K. (2018b). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Iodine*, pp.80-82, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 19 de fevereiro de 2018)
- SCHNEBELE, Emily K. (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Silicon*, pp.148-149, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018)
- Schundler Company (2013). *Unusual, unique, and unexpected uses of Perlite and vermiculite*, The Schundler Company. Disponível em: <http://www.schundler.com/unusual.htm> (Acedido a 25 de julho de 2017).
- Schundler Company (2017). *Vermiculite*. Safety Data Sheet SDS. Section 2 - Hazards Identification. The Schundler Company (PDF). Disponível em: <http://www.schundler.com/Vermiculite%20SDS%202015%20Final.pdf> (Acedido a 13 de junho de 2018).
- SCHWAB, Klaus (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. Global Agenda, Fourth Industrial Revolution. WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond> (Acedido a 11 maio de 2017)
- SCHWAB, Klaus, by RIFKIN, Jeremy (2016). *Misfires with Its Fourth Industrial Revolution Theme*. The World Economic Forum in Huffpost. Disponível em: http://www.huffingtonpost.com/jeremy-rifkin/the-2016-world-economic-f_b_8975326.html (Acedido a 17 de março de 2017)
- SCHWARZ, Guenter and BELAIDI, Abdel A. (2013). *Molybdenum in Human Health and Disease*, Chapter 13. In Astrid Sigel; Helmut Sigel; Roland K. O. Sigel. Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases. Col: Metal Ions in Life Sciences. 13. [S.l.]: Springer. pp. 415-450. doi:10.1007/978-94-007-7500-8_13
- SCHWEISSGUTH, Sammie (2014). *Crowdsourcing Industry Trends: Unique Ways Companies Are Leveraging the Crowd*. Crowdsourse. Disponível em: <https://www.crowdsourse.com/blog/2014/05/crowdsourcing-industry-trends-unique-ways-companies-leveraging-crowd-will-impact-future-job-markets/> (Acedido a 26 de dezembro de 2017)
- SDSN (2013). *World Happiness Report 2013. Sustainable Development Solutions Network*. Disponível em: <http://unsdsn.org/resources/publications/world-happiness-report-2013/> (Acedido a 12 de Abril de 2015)
- SEBA, Tony (2017). *Rethinking Transportation 2020-2030*. Disponível em: <https://tonyseba.com/portfolio-item/rethinking-transportation-2020-2030/> (Acedido a 3 de janeiro 2018)

- SEDGWICK, David (2017).** *Which suppliers will survive the electric era?* Automotive News. Disponível em: <http://www.autonews.com/article/20170730/OEM05/170739947/which-suppliers-will-survive-electric-era> (Acedido a 4 de novembro de 2017).
- Self-Assembly Lab (2017).** MIT. Disponível em: <http://www.selfassemblylab.net> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Senvol (2017).** Materials Search, Senvol Database. Disponível em: http://senvol.com/5_material-search/ (Acedido a 30 de novembro de 2017)
- SHEDD, Kim B. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Cobalt*, pp.50-51, U.S. Geological Survey. January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- SHEDD, Kim B. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Tungsten*, pp. 178-179, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 23 de fevereiro de 2018)
- SHENK, David (1997).** *Data Smog: Surviving the Information Glut*. Books, The New York Times on Web. Disponível em: <http://www.nytimes.com/books/first/s/shenk-data.html> (Acedido a 8 de fevereiro de 2018)
- SHIH, Stan (2010).** *Smile Curve*. Disponível em: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2012/04/20100609_china_global_steinfeld.pdf (Acedido a 11 setembro de 2017)
- SHUMPETER, Joseph A. (1957).** *The theory of economic development*. Cambridge, Harvard University.
- SIBUM, Heinz; GÜNTHER, Volker; ROIDL, Oskar; HABASHI, Fathi and WOLF, Hans Uwe (2005),** *Titanium, Titanium Alloys, and Titanium Compounds in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2005*, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a27.095
- SIC (2018).** *Os portugueses consomem menos produtos no supermercado mas gastam mais*, Telejornal das 13h, SIC. Visualizado a 3 de Março, 2018.
- Siemens ([s.d.]).** *Tecnomatix, Simulação e Validação da Manufatura*. Disponível: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>; https://www.siemens.com/download?A6V1_0667815/
- Siemens (2017a).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/siemens/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Siemens (2017b).** *Rapid Growth through Digitalization*. Innovations, Pictures of the future. Disponível em: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/research-and-management/innovations-innovation-day.html> (Acedido a 7 de abril de 2016).
- Siemens (2017c).** *Digital factory - Flexible and efficient manufacturing processes*. Disponível em: <https://www.siemens.com/global/en/home/company/about/businesses/digital-factory.html> (Acedido a 17 de dezembro de 2017).
- Siemens (2017d).** *We're not just about buildings*. Disponível em: <https://www.siemens.com/global/en/home/company/topic-areas/intelligent-infrastructure/buildings.html> (Acedido a 8 de novembro de 2017).
- Siemens (2017e).** *Mobility, Meeting the need for smart mobility solutions*. Disponível em: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility.html> (Acedido a 15 de novembro de 2017).
- Signavio (2017a).** *Signavio: Process Editor and Decision Manager: Changes in Version 10.11.0 (SaaS)*. Disponível em: <https://www.signavio.com/release-notes/changes-in-version-10-11-0/> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- Signavio (2017b).** *The Signavio story*. Disponível em: <https://www.signavio.com/story-behind-signavio/> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- SILVA, José M.A.; DEVEZAS, Tesseleno C; SILVA, Abílio P. And FERREIRA, José A.M. (2003).** *Mechanical Characterization of Compounds with Embedded Optical Fibers*. Disponível em: *Journal of Composite Materials*, Vol. 39, Nº 14/2005, DOI: 10.1177/0021998305050423
- SIMMONS, Dan (2015).** *Airbus had 1,000 parts 3D printed to meet deadline*. BBC, News, Technology. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/technology-32597809> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- SINGER, Peter (2015).** *Effective Altruism*. Disponível em: <https://www.project-syndicate.org/commentary/altruism-world-giving-index-by-peter-singer-2015-04?barrier=accessreg> (Acedido a 27 de março de 2016)

- SINGERLING, Sheryl A. (2017). *Mineral Commodity Summaries 2017 - _Strontium*, pp.160-161, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de Janeiro de 2018)
- SINGERLING, Sheryl A. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2018 - _Chromium*, pp.46-47, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- SINGERLING, Sheryl A. (2018b). *Mineral Commodity Summaries 2018 - _Fluorspar*, pp.60-61, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- SINGERLING, Sheryl A. (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2018 - _Garnet (Industrial)*, pp.64-65, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- SINGERLING, Sheryl A. (2018e). *Mineral Commodity Summaries 2018 - _Strontium*, pp.158-159, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 20 de fevereiro de 2018).
- SINN, Hans-Werner (2016). *Estagnação secular ou mal-estar auto-infligido?* Outubro 20, 2016. Negócios. Disponível em: http://www.jornaldenegocios.pt/opiniao/economistas/detalhe/estagnacao_secular_ou_mal_estar_auto_infligido (Acedido a 29 de dezembro de 2017)
- Sixt (2007). *DriveNow Car Sharing*. Disponível em: <https://www.sixt.com/drive-now/> (Acedido a 12 de Junho de 2017)
- SKIDELSKY, Robert (2014). *The moral Economy of Debt*. London, UK: Project Syndicate. Disponível em: <http://www.project-syndicate.org/commentary/creditor-debtor-battle-supply-and-demand-by-robert-skidelsky-2014-10> (Acedido a 11 de outubro de 2016).
- Smart Label (2017). Product search. Find detailed information on products. Disponível em: <http://www.smartlabel.org/products> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- SMIL, Vaclav. (2014). *Making the Modern World: Materials and dematerialization*. New Jersey: Wiley.
- SMITH, M.; HARGROVES, K. and DESHA, C. (2010). *Cents and Sustainability: Securing Our Common Future* by Decoupling Economic Growth from Environmental Pressures. The Natural Edge Project. London: Routledge.
- SMLC (2017). About Smart Manufacturing Leadership Coalition. Disponível em: <https://smartmanufacturingcoalition.org/about>, (Acedido a 14 outubro de 2017)
- SMYTH, P. P. (2003). *Role of iodine in antioxidant defense in thyroid and breast disease*. BioFactors (Oxford, England). 19 (3-4): 121-30. doi:10.1002/biof.5520190304.
- Somapil (2018). Aglomerado de madeira. Madeiras do mundo. Disponível em: <http://www.somapil.com/pt/placas/aglomerado-cru> (Acedido a 6 de março de 2018)
- SPI Lasers (2017). Additive Manufacturing Materials. Leading Manufacturer of fiber laser. Disponível em: <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-materials/> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Starck, H.C. (2017). Additive Manufacturing and other Powder Metallurgical Processes: Broad Portfolio of Products and Services. Disponível em: https://www.hcstarck.com/additive_manufacturing_w_mota_nb_re (Acedido a 29 de maio de 2017)
- Statista (2018). *Proportion of raw materials used worldwide for the production of 1.3 billion mobile phones as of 2010*, dezembro 2010. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/270791/proportion-of-raw-materials-used-in-mobile-phones/> (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- Statista (2018a). *Number of mobile phone users worldwide from 2013 to 2019 (in billions)*. The Statistics Portal. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/> (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- Statista (2018b). *Mobile phone user penetration as percentage of the population worldwide from 2013 to 2019*. The Statistics Portal. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/470018/mobile-phone-user-penetration-worldwide/> (29 de janeiro de 2018)
- STATT, Nick (2018). *Amazon is reportedly following Apple and Google by designing custom AI chips for Alexa*. The Verge. February 12, 2018. Disponível em: <https://www.theverge.com/2018/2/12/17004734/amazon-custom-alexa-echo-ai-chips-smart-speaker> (Acedido a 25 de fevereiro de 2017)
- STEINBERGER, J.K.; KRAUSMAN, F., & EISENMENGER, N. (2010). *Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis*. Ecological Economics, 69, 1148-1158.

- STRIGUL, N.; KOUTSOSPYS, A.; ARIENTI, P.; CHRISTODOULATOS, C.; DERMATAS, D.; BRAIDA, W. (2005). *Effects of tungsten on environmental systems*. Chemosphere. 61 (2): 248-58.
- STWERTKA, Albert (1996). *A Guide to the Elements*. Oxford University Press. pp. 117-119. ISBN 0-19-508083-1.
- STWERTKA, Albert (2002). *A Guide to the elements*. 2nd ed. New York: Oxford University Press. ISBN 0195150260. CORTAR UM
- SUH, S. (2008) *Sustainable Industrial Development*, Natural Resources Consumption and Sustainable Industrial Development, Fall Issue: 28-41.
- SULLIVAN, Daniel E. (2006). *Recycled cell phones - a Treasure trove of Valuable metals*. USGS, Fact Sheet 2006 - 3097, July 2006, U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2006/3097/fs2006-3097.pdf> (Acedido a 21 de maio de 2016).
- SUMMERS, L. (2016). *The age of secular stagnation: What it is and what to do about it*. Foreign Affairs, February 15.
- SUMMERS, Lawrence H. (2013). - *Will the global economy add up?* Project Syndicate. Disponível em: <https://www.project-syndicate.org/commentary/the-dangerous-appeal-of-export-led-growth-by-lawrence-h--summers> (Acedido a 4 de abril de 2015).
- SUMMERS, Lawrence H. (2013). *Will the global economy add up?* s.l. : Project Syndicate. Disponível em: <https://www.project-syndicate.org/commentary/the-dangerous-appeal-of-export-led-growth-by-lawrence-h--summers> (Acedido a 4 de abril de 2015).
- Swiss Re (2014). New Swiss Re SONAR report investigates emerging risks for the insurance industry. Swiss Re News, Zurich. Disponível em: http://www.swissre.com/media/news_releases/nr_20140708_sonar.html (Acedido a 12 de agosto de 2017)
- Swiss Re (2017). *Swiss Re SONAR - New emerging risks insights 2017*. Swiss Re, Expertise Publications. Disponível em: http://www.swissre.com/library/expertise-publication/swiss_re_sonar_new_emerging_risks_insights_2017.html (Acedido a 26 de agosto de 2017)
- TAG Heuer (2015). *Google e Intel anunciam colaboração para o lançamento de um Smartwatch suíço*. Tag Heuer Team Disponível em: <https://www.tagheuer.com/pt/noticias/tag-heuer-google-e-intel-anunciam-colaboracao-para-o-lancamento-de-um-smartwatch-suico>, (Acedido a 11 de abril de 2017)
- TANNER, Arnold O. (2017a). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Kyanite and Related Minerals*, pp. 94-95, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF) Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 19 de janeiro de 2018).
- TANNER, Arnold O. (2017b). *Mineral Commodity Summaries 2017 - Vermiculite*, pp. 184-185, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 17 de janeiro de 2018).
- TANNER, Arnold O. (2018). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Feldspar and Nepheline Syenite*, pp. 58-59-29, U.S. Geological Survey, January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de fevereiro de 2018).
- TANNER, Arnold O. (2018a). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Kyanite and related Minerals*, pp. 92-93, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de janeiro de 2018).
- TANNER, Arnold O. (2018c). *Mineral Commodity Summaries 2018 - Vermiculite*, pp. 182-183, U.S. Geological Survey, January 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de janeiro de 2018)
- TaskRabbit (2008). Disponível em: <https://www.taskrabbit.com/> (Acedido a 28 de agosto de 2015).
- TAYLOR Christopher D.; GULLY, Benjamin; SANCHEZ, Andrea N.; RODE, Edward and AGARVAL Arun S. (2016). *Towards Materials Sustainability through Materials Stewardship*. MDPI, Sustainability Disponível em: www.mdpi.com/2071-1050/8/10/1001/pdf (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- Techshot (2017). Aerospace & Medical. Disponível em: <http://www.techshot.com/> (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- Tencent Holdings (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/tencent-holdings/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- Tesla (2017). *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/tesla/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)

- Tesla (2018).** *Tesla Factory*. Disponível em: https://www.tesla.com/pt_PT/factory (Acedido a 30 de janeiro de 2018).
- Tetra Pak (2017).** Disponível em: <http://www.tetrapak.com/pt/> (Acedido a 29 de novembro de 2017)
- TEULINGS, Coen and BALDWIN, Richard, (2014).** *Secular stagnation: Causes and cures*. Disponível em: http://www.voxeu.org/sites/default/files/Vox_secular_stagnation.pdf (Acedido a 4 de Abril de 2015)
- The Barytes Association (2017).** *What is Barytes? - Barytes Statistics*. Disponível em: <http://barytes.org/statistics.html> (Acedido a 19 de janeiro de 2018)
- The Economist (2007).** *Case history: The truth about recycling*. 9 June 2007. Disponível em: http://www.economist.com/node/9249262?story_id=9249262 (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- The Economist (2009).** *The demand-driven supply chain: A holistic approach*. A report from the Economist Intelligence Unit Sponsored by Oracle. Disponível em: http://viewswire.eiu.com/report_dl.asp?mode=fi&fi=1304214915.PDF (Acedido a 12 outubro de 2017)
- The Economist, (2015).** *From books to builders - Amazon's next move*. The Economist. Disponível em: <http://www.economist.com/news/business-and-finance/21647529-americas-biggest-online-retailer-attempts-take-another-slice-demand-economy-books?fsrc=scn/tw/te/bl/frombookstobuilders> (Acedido a 1 de fevereiro de 2017)
- The Independent (2016).** *The Independent becomes the first national newspaper to embrace a global, digital-only future*. News, Media, Press, Friday 12 February 2016. Disponível em: <http://www.independent.co.uk/news/media/press/the-independent-becomes-the-first-national-newspaper-to-embrace-a-global-digital-only-future-a6869736.html> (Acedido a 1 de fevereiro de 2018)
- The Paperless Project (2016).** *Facts About Paper: The Impact of Consumption*. Disponível em: <http://www.thepaperlessproject.com/facts-about-paper-the-impact-of-consumption/> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- The Royal Academy of Engineering (2012).** *Industrial Systems: capturing value through manufacturing*. ISBN 1-903496-69-1, FV 2012, London. Disponível em: https://www.raeng.org.uk/publications/reports/industrial_systems_capturing_value (Acedido a 29 de maio de 2017)
- The Social Progress Imperative (2018).** Disponível em: <http://www.socialprogressimperative.org/data/spi> (Acedido a 12 de fevereiro de 2018)
- The Telegraph (2017).** *20 bestselling mobile phones of all time*. Technology, 06 Aug 2017. Disponível em: <http://www.telegraph.co.uk/technology/picture-galleries/9818080/The-20-best-selling-mobile-phones-of-all-time.html?frame=2459012> (Acedido a 27 de janeiro de 2018)
- The world Counts (2014).** *Paper Waste*. Disponível em: <http://www.theworldcounts.com/stories/Paper-Waste-Facts> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- The World's Biggest Public Companies (2017).** Forbes Global. Disponível em: https://www.forbes.com/global2000/list/#header:marketValue_sortreverse:true (Acedido a 9 de agosto de 2017)
- TheoryBiz.com [s.d.].** *The Modularization of the value chain*. The theory of the business. The Age of imitation. Disponível em: <http://theorybiz.com/copycats/the-age-ofimitation/3329-the-modularization-of-the-value-chain> (Acedido a 30 de agosto de 2017)
- Thinfilm (2017).** Disponível em: <http://thinfilm.no> (Acedido a 25 de agosto de 2017)
- THOMAS, Christine L. (2017).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Mica (Natural)*, pp. 110-111, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- THOMAS, Christine L. (2018a).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Germanium*, pp. 68-69, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018).
- THOMAS, Christine L. (2018b).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Zin*, pp. 190-191, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 21 de janeiro de 2018)
- THOMAS, Christine L. 2017.** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Garnet (Industrial)*, pp.66-67, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/garnet/mcs-2017-garne.pdf>. Granada
- THOMAS, Martin and McElroy, Mark W. (2015).** *A Better Scorecard for Your Company's Sustainability Efforts*. Sustainability. Harvard Business Review. Disponível em: <https://hbr.org/2015/12/a-better-scorecard-for-your-companys-sustainability-efforts> (Acedido a 24 de abril de 2016)

- THOMPSON, John B. (2002).** *Ideologia e cultura moderna: teoria social crítica na era dos meios de comunicação em massa*. 5ª edição, São Paulo: Vozes.
- TOFFLER, Alvin F. (1980).** *The Third wave*. Identifier-ark ark:/13960/t0vq6nj03, 1st Edition. Publisher: William Morrow and Company, NY, USA. Disponível em: <https://archive.org/details/TheThirdWave-Toffler> (Acedido a 3 de agosto de 2017)
- TOFFLER, Alvin F. (1998).** *O Choque do Futuro*. Minha Teca. 6º Edição. Editora Record, Rio de Janeiro - S. Paulo ISBN:85.01.02659-X. Disponível em: <https://docs10.minha.teca.com.br/752503727,BR,0,0,0,O-Choque-do-Futuro---Alvin-Tofler.pdf> (Acedido a 1 de agosto de 2017)
- TOLCIN, Amy C. (2011).** *2009 Minerals Yearbook: Zinc*. Zinc: World Mine Production (zinc content of concentrate) by Country. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20110608154555/http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/myb1-2009-zinc.pdf> (Acedido a 14 janeiro de 2018)
- TOLCIN, Amy C. (2015).** *Mineral Commodity Summaries 2015 - Zinc*, pp. 186-187, U.S. Geological Survey, may 2015, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/mcs-2015-zinc.pdf> (Acedido a 14 janeiro de 2018).
- TOLCIN, Amy C. (2016).** *Mineral Commodity Summaries 2016 - Indium*, pp. 80-81, U.S. Geological Survey, january 2016, (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2016-indiu.pdf> (Acedido a 13 novembro de 2017).
- TOLCIN, AMY C. (2017a).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Cadmium*, pp.42-43, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 22 de janeiro de 2018)
- TOLCIN, AMY C. (2017b).** *Mineral Commodity Summaries 2017 - Indium*, pp.80-81, U.S. Geological Survey, january 2017 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> (Acedido a 13 de fevereiro de 2018)
- TOLCIN, AMY C. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Cadmium*, pp.40-41, U.S. Geological Survey, january 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018)
- TORABI, Seyed-Fakhreddin; KHAJEH, Khosro; GHASEMPUR, Salehe; GHAEMI, Nasser; SIADAT, Seyed-Omid Ranaei (2007).** *Covalent attachment of cholesterol oxidase and horseradish peroxidase on perlite through silanization: Activity, stability and co-immobilization*. Journal of Biotechnology. (31 de agosto de 2007)131 (2): 111-120. doi: 10.1016/j.jbiotec.2007.04.015
- TOTTEN, George E.; WESTBROOK, Steven R.; SHAH and Rajesh J. (2003).** *Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing*. Totten, George E., Editor. ASTM International, (2003-06-01), p.152. ISBN 9780803120969.
- Toyota (2007).** *Just-in-time - Philosophy of complete elimination of waste*. Disponível em: http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/just-in-time.html (Acedido a 29 outubro de 2017)
- Toyota Motor Corporation (2018).** Disponível em: <https://www.toyota.com> (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- Transport Environmental (2017).** *Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability*. Outubro 2017, Transport Environmental.Org (PDF). Published on October 26, 2017 Disponível em: <https://www.transportenvironment.org/publications/electric-vehicle-life-cycle-analysis-and-raw-material-availability> (Acedido a 30 de janeiro de 2018)
- TSE, Pui-Kwan (2011).** *China's Rare-Earth Industry*. Open-File Report 2011-1042, USGS - E.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1042/of2011-1042.pdf> (Acedido a 17 novembro de 2017)
- TUCK, Christopher A. (2018).** *Mineral Commodity Summaries 2018 - Cesium*, pp.44-45, U.S. Geological Survey. January 2018 (PDF). Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 17 de fevereiro de 2018).
- TUPY, M.L. (2012).** *Why iphone and Siri are good for capitalism*. Disponível em: <http://www.cato.org/blog/miracleiphoneorhowcapitalismcanbegoodenvironment> (Acedido a 28 de janeiro de 2018) in VACLAV, Smil (2014). *Making the Modern World, Materials and Dematerialization*, Wiley, John Wiley & Sons, Ltd.
- U.S. Departement of Energy (2010).** *Critical materials Strategy*. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/edg/news/documents/Critical_Materials_Summary.pdf (Acedido a 2 março de 2018).

- U.S. Geological Survey (2017).** *Characterization and Identification of Critical Mineral Resources*. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/science/critical-minerals.html> (Acedido a 4 março de 2018).
- U.S. Geological Survey (2018).** Mineral Commodity Summaries, January 2018. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- Uber (2009).** *Business, who we are?* Disponível em: <https://www.uber.com/business> (Acedido a 2 de fevereiro de 2015).
- Underwriters Laboratories (2011).** *The Life Cycle of Materials in Mobile Phones*. A UL White Paper, UL. Disponível em: https://services.ul.com/wp-content/uploads/sites/4/2014/05/ULE_CellPhone_White_Paper_V2.pdf (Acedido a 30 de janeiro de 2018).
- UNEP (1998).** *Environmental Health Criteria 204: Boron*. The IPCS, Inchem, United Nations Environment Programme (UNEP), International Labour Organization (ILO), World Health Organization (WHO), International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1998. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- UNEP (2011).** *Decoupling Natural Resource use and Environmental Impacts from Economic Growth (Summary)*. UNEP Document Repository. Disponível em: <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8775>
- UNEP (2011).** *Decoupling Natural Resource use and Environmental Impacts from Economic Growth*. International Resource Panel, by FISCHER-KOWALSKI, Marina; WEIZSÄCKER, Ernst Ulrich von; REN, Yong Ren; MORIGUCHI, Yuichi; CRANE, Wendy; KRAUSMANN, Fridolin; EISENMENGER, Nina; GILJUM, Stefan; HENNICKE, Peter; KEMP, Rene; LANKAO, Paty Romero; MANALANG, Anna, SEWERIN, S. UNEP - United Nations Environmental Programme. ISBN: 978-92-807-3167-5. Disponível em: http://www.gci.org.uk/Documents/Decoupling_Report_English.pdf (Acedido a 31 de janeiro de 2012)
- UNEP (2013).** *Global Report Mercury Assessment - Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. Avaliação Global das Emissões de Mercúrio. Division of Technology, Industry and Economics, Chemicals Branch International Environment House (PDF). Disponível em: www.mma.gov.br/images/arquivo/80037/Mercurio/GlobalMercuryAssessment2013.pdf (Acedido a 4 de janeiro de 2018)
- UNEP (2017).** *Environmental Programme*. Disponível em: <http://web.unep.org/about/> (Acedido a 25 de Julho de 2017)
- UNESCO, (2012).** *Heritage of Mercury. Almadén and Idrija*. UNESCO World Heritage Centre - World Heritage List. Disponível em: <http://whc.unesco.org/en/list/1313> (Acedido a 12 de janeiro de 2018)
- United Nations (2004).** *World Population to 2300*. Department of Economic and Social Affairs, Economic & Social Affairs, New York, 2004. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final> (Acedido a 14 de novembro de 2017)
- United Nations (2008).** *The Millennium development goals Report, 2008*. United Nations, NY. (PDF). Disponível em: <http://www.in.gov/millenniumgoals/pdf/The%20Millennium%20Development%20Goals%20Report%202008.pdf> (Acedido a 30 de setembro de 2012).
- United Nations (2008).** *The Millennium Development Goals Report*, New York. Disponível em: [http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf) (Acedido a 26 de Fevereiro de 2018)
- United States Geological Survey - USGS. (2008).** Mineral Commodity Summaries: Boron. [Online] Disponível em <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron/mcs-2008-boron.pdf> (Acedido a 20 de setembro de 2008).
- UN-REDD (2016).** *Supporting Nationally Led Redd+ Initiatives in 64 Developing Countries*. Un-REDD Programme. Disponível em: <http://www.un-redd.org/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- USGS (2002).** Rare Earth elements – Critical Resources for High Technology. Supporting Sound Management of Mineral Resources. Fact Sheet 087-02, USGS. [Online] Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2002/fs087-02/fs087-02.pdf> (Acedido em 18 de dezembro de 2017).
- USGS (2018).** *Rare Earths, Statistics and Information*. Disponível em: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/ (Acedido a 21 de fevereiro de 2018)
- USLALI, T. and NORDFORS, D. (2007).** *The role of journalism in creating the metaphor of Silicon Valley*. Paper presented at the Innovation Journalism 4 Conference, Stanford University, Palo Alto, Calif., 23 May, 2007, (PDF). Disponível em: <https://web.archive.org/web/20120907002807/> ; <http://www.innovationjournalism.org/ij4/presentations/turousskalidavidnordfors.pdf> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- USPTO (2016).** *Design Patents, January 1, 1991 - December 31, 2015*. (U.S. Patent and Trademark Office) <https://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/oeip/taf/design.pdf> (Acedido a 6 de junho de 2017)

- UTTERBACK, James M, and ABERNATHY, William J. (1974).** *A Dynamic Model of Process and Product Innovation*. OMEGA, The Int. JI of Mgrnt Sci., Vol. 3, No.6, 1975. Pergamon Press. Printed in Great Britain. Disponível em: http://scripts.mit.edu/~varun_ag/readinggroup/images/f/f6/Utterback-_Aber-nathy_-_A_dynamic_model_of_process_and_product_innovation.pdf (Acedido a 26 de fevereiro de 2018)
- Vale (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/vale/> (Acedido a 25 de novembro de 2017)
- VANEKER, T.H.J. (2017).** The Role of Design for Additive Manufacturing in the Successful Economical Introduction of AM. *Procedia CIRP*, Volume 60, 2017, Pages 181-186, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117301026> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- VARTANIAN, Kenneth and McDONALD, Tom (2016).** *Accelerating Industrial Adoption of Metal Additive Manufacturing Technology*. *JOM*, 2016, Volume 68, Issue 3, pp 806-810. Advances in Engineering. Disponível em: <https://advanceseng.com/general-engineering/accelerating-industrial-adoption-metal-additive-manufacturing-technology/> (Acedido a 23 de agosto de 2017)
- VAUGHAN, Adam (2016).** *Google to be powered 100% by renewable energy from 2017*. Renewable energy, Environment, The Guardian. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2016/dec/06/google-powered-100-renewable-energy-2017> (Acedido a 24 de junho de 2017)
- VAZ, António Manuel M. (2012).** *A expressão da desmaterialização através do design*, Dissertação para grau de Mestre em Design Industrial e Tecnológico (2º ciclo), 20 de outubro de 2012, Orientador: Professor Doutor Tessaleno Devezas. Faculdade de Engenharia, Universidade da Beira Interior
- VDI Nachrichten (2011).** *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution*. 2 Meinung VDI nachrichten. Berlin 1 abril 2011. Nr 13. Disponível em: http://www.wolfgang-wahlster.de/wordpress/wp-content/uploads/Industrie_4_0_Mit_dem_Internet_der_Dinge_auf_dem_Weg_zur_vierten_industriellen_Revolution_2.pdf (Acedido a 4 maio de 2017)
- VDMA Organisationen (2017).** Disponível em: www.vdma.org (Acedido a 15 junho de 2017)
- VENKATACHALAM, Sandhya (2017).** *2017 is the year of artificial intelligence. Here's why*. May 24, 2017, Artificial Intelligence and Robotics, WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/05/2017-is-the-year-of-artificial-intelligence-here-s-why/> (Acedido a 3 de fevereiro de 2018)
- VERHOEVEN, J.D. (1975).** *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Wiley, New York, p. 326
- VIANA, J.J. (2008).** *Administração de materiais: Um enfoque prático*. São Paulo, Atlas, 2008.
- VILAPLANA, J. and ROMAQUERA, C. (1998).** *New developments in jewellery and dental materials*. Contact Dermatitis. 39 (2): 55-57. PMID 9746182. doi:10.1111/j.1600-0536.1998.tb05832.
- WAHLSTER, Wolfgang (2016).** *Industrie 4.0: Cyber-Physical Production Systems for Mass Customization*. German-Czech Workshop on Industrie 4.0/ Prumysl 4.0. Prague, April 11, 2016 Disponível em: http://www.dfki.de/wwdata/GermanCzech_Workshop_on_Industrie_4.0_Prague_11_04_16/Industrie_4_0_Cyber-Physical_Production_Systems_for_Mass_Customizations.pdf (Acedido a 4 maio de 2017)
- WAKABAYASHI, Daisuke (2017).** *Apple Scales Back Its Ambitions for a Self-Driving Car (Apple PAIL, o carro elétrico com piloto automático)*. Technology, The New York Times. Disponível em: https://www.nytimes.com/2017/08/22/technology/apple-self-driving-car.html?_r=0 (Acedido a 24 de setembro de 2017)
- Wake Forest, (2006).** Wake Forest, Baptist Medical Center. *Wake Forest Physician Reports First Human Recipients of Laboratory-Grown Organs*. Disponível em: http://www.wakehealth.edu/News-Releases/2006/Wake_Forest_Physician_Reports_First_Human_Recipients_of_Laboratory_Grown_Organs.htm (Acedido a 23 de outubro de 2017)
- Walmart (2017).** *The world's biggest Public Companies*, Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/companies/wal-mart-stores/> (Acedido a 7 de outubro de 2017)
- WAN-IFRA (2017).** World Association of Newspapers and New Publishers. Disponível em: <http://www.wan-ifra.org/>, (Acedido a 14 de dezembro de 2017)
- Wastecare Corporation (2013).** *Cell phone recycling*. Disponível em: https://www.wastecare.com/Articles/Cell_Phone_Recycling.htm (Acedido a 28 de janeiro de 2018).
- Waymo (2017).** Waymo Journey Disponível em: <https://waymo.com/journey/> (Acedido a 30 de agosto de 2017)
- WebCite (2007).** *Weathering and Sedimentary Rocks*. Geology. WebCite. Retrieved on July 18, 2007. Disponível em: <https://www.webcitation.org/5QVXQaCAy?url=http://geology.csupomona.edu/drjessey/class/Gsc101/Weathering.html> (Acedido a 1 de janeiro de 2018).

- WebElements.com (2018).** Abundance in Earth's Crust". Disponível em: https://www.webelements.com/periodicity/abundance_crust/ (Acedido a 3 de março de 2018)
- WEF (2014).** *Global Risks 2014*, Ninth Edition. Insight Report. World Economic Forum, Insight Report. In collaboration with Marsh & McLennan Companies, Swiss Re, Zurich Insurance Group, National University of Singapore, Oxford Martin School, University of Oxford, Wharton Risk Management and Decision Processes Center, University of Pennsylvania. Disponível em: <http://reports.weforum.org/global-risks-2014/> (Acedido a 3 de agosto de 2017)
- WEF (2017).** *Accelerating Workforce Reskilling for the Fourth Industrial Revolution*. White Paper, Thursday 27 July 2017. Disponível em: www.weforum.org/whitepapers/accelerating-workforce-reskilling-for-the-fourth-industrial-revolution (Acedido a 25 Dezembro, 2017)
- WEF (2017a).** *Global Competitiveness Index 2017-2018*. WEF edition (Key indicators, 2016). Disponível em: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-index-2017-2018/coun-tryeconomy-profiles/> (Acedido a 4 dezembro de 2017)
- WEF (2017b).** *Global Competitive Index Report 2017-2018*, World Economic Forum. Disponível em: http://reports.weforum.org/pdf/gci-2017-2018scorecard/WEF_GCI_2017_2018_Scorecard_GCI.pdf: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-index-2017-2018/#topic=data> (Acedido a 27 dezembro de 2017)
- WEF (2017c).** *Accelerating Workforce Reskilling for the Fourth Industrial Revolution. An Agenda for Leaders to Shape the Future of Education, Gender and Work*. White Paper. World Economic Forum Committed to improving the State of the World Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_EGW_White_Paper_Reskilling.pdf (Acedido a 30 de outubro de 2017)
- WEF (2017d).** *The Global Risks Report 2017*, 12th Edition. Insight Report. World Economic Forum, Geneva. ISSN: 978-1-944835-07-1, Ref.:050117. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf (Acedido a 14 de agosto de 2017)
- WEF (2018a).** *India is building roads from plastic waste*. Disponível em: <https://www.facebook.com/worldeconomicforum/videos/10155150946311479/?t=19> (7 de março de 2018)
- WEF (2018b).** *Watch: Building roads from plastic waste in India*. In Gulf News India. Disponível em: <https://www.facebook.com/worldeconomicforum/videos/10154883901131479/?t=12>; <http://gulfnnews.com/news/asia/india/watch-building-roads-from-plastic-waste-in-india-1.2122745>
- WEIZSÄCKER, Ernst U. Von (2017).** Green Cross. Disponível em: <https://www.gcint.org/who-we-are/our-people/ernst-ulrich-von-weizsacker/> (Acedido a 15 outubro de 2017)
- WERNICK, Iddo K.; HERMAN, Robert; GOVIND, Shekhar and AUSUBE, Jesse H. (1996).** *Materialization and Dematerialization: Measures and Trends*. Rockefeller University. Daedalus, The journal of the American Academy of Arts and Sciences, Cambridge, MA. 125(3):171-198 (Summer 1996) Also in *Technological Trajectories and the Human Environment*, <https://phe.rockefeller.edu/Daedalus/Demat/> (Acedido a 1 de março de 2016)
- WESDOCK, James C. and ARNOLD, Ian M. F. (2014).** *Occupational and Environmental Health in the Aluminum Industry. Key Points for Health*, S5-S11. Published online 2014 May 8. doi:10.1097/JOM.0000000000000071. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4131940/> (Acedido a 21 de dezembro de 2017).
- WHO (2001).** *The world health report 2001 - Mental Health: New Understanding, New Hope*. World Health Organization. Disponível em: <http://www.who.int/whr/2001/en/> (Acedido em 14 de janeiro de 2018)
- WHO (2017).** *Chemical hazards in drinking-water: Aluminium*. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/aluminium/en/ (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- WHO (2018).** *Dioxins and their effects on human health*. World Health Organization. June 2014. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/> (Acedido a 14 de fevereiro de 2018)
- WIDMER, Rolf; DU, Xiaoyue; HAAG, Olaf; RESTREPO, Eliette and WÄGER, Patrick A. (2015).** *Scarce Metals in Conventional Passenger Vehicles and End-of-Life Vehicle Shredder Output*. ACS Publications. Environ. Sci. Technol., 2015, 49 (7), pp 4591-4599 DOI: 10.1021/es505415d Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es505415d?journalCode=esthag> (Acedido a 16 de fevereiro de 2018)
- Wikisource (2017).** *Kyanite*. 1911 Encyclopedia Britannica/Cyanite. Disponível em: https://en.wikisource.org/wiki/1911_Encyclop%C3%A6dia_Britannica/Cyanite
- Wikivisually (2018).** *Motorola DynaTAC File: DynaTAC8000X.jpg*. Disponível em: https://wikivisually.com/wiki/Motorola_DynaTAC (Acedido a 29 de janeiro de 2018)

- WILBER, C. G. (1980).** *Toxicology of selenium*. Clinical Toxicology, 1980. Sep; 17(2): 171-230 17 (2): 171-230. doi:10.3109/15563658008985076. PMID 6998645.
- WILBURN, David R. (2011).** *Cobalt Mineral Exploration and Supply from 1995 through 2013*. Scientific Investigations Report 2011-5084. USGS - U.S. Geological Report (PDF). Disponível em: https://pubs.usgs.gov/sir/2011/5084/pdf/SIR2011-5084_final_012612.pdf (Acedido a 20 agosto de 2017)
- WILKINSON, Angela and KUPERS, Roland (2013).** *Living in the Futures*. Managing Uncertainty. Harvard Business Review. Disponível em: <https://hbr.org/2013/05/living-in-the-futures> (Acedido a 31 de maio de 2016)
- WILSON, Thomas (2017).** *Glencore to Double Cobalt Output on Electric Vehicle Demand*. 12 de dezembro de 2017, Bloomberg Markets. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-12/glencore-to-double-cobalt-output-as-electric-cars-drive-demand> (Acedido a 23 de janeiro de 2017).
- WINKLER, Clemens (1887).** *Germanium, Ge, a New Nonmetal Element*. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (in German). 19 (1): 210-211. doi:10.1002/cber.18860190156. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20081207033757/http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Chem-History/Disc-of-Germanium.html> (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- WIPO ([s.d.]).** *Locarno Agreement Establishing an International Classification for Industrial Designs*. Disponível em: <http://www.wipo.int/treaties/en/classification/locarno/> (Acedido a 15 de fevereiro de 2018)
- WIPO (2013).** *World Intellectual Property Report 2013: Brand - Reputation and Image in the Global Marketplace*. Disponível em: <http://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=384> (Acedido a 23 de fevereiro de 2016)
- WIPO (2017).** *World Intellectual Property Report 2017: Intangible capital in global value chains*. Geneva: World Intellectual Property Organization. Disponível em: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_944_2017.pdf (Acedido a 26 de dezembro de 2017)
- Wired (2016).** *In two moves, Alphago and Lee Sedol redefined the future*. Business, 2016. Disponível em: <https://www.wired.com/2016/03/two-moves-alphago-lee-sedol-redefined-future/> (Acedido a 1 de novembro de 2017)
- WOHLERS, T. (2012).** *Annual Worldwild Progress Report, Additive Manufacturing and 3D Printing of the Industry*, Report 2012, Wohlers Associates. ISBN 0-9754429-9-6 Disponível em: <https://www.wohlersassociates.com/2012report.htm>
- WOHLSEN, Marcus (2014).** *What Google really gets out of buying nest for \$3,2 Billion*. January, 14, 2014. Disponível em: <https://www.wired.com/2014/01/googles-3-billion-nest-buy-finally-make-internet-things-real-us/> (Acedido a 1 de janeiro de 2018)
- WOLF, Marco and McQUITTY, Shaun (2013).** *Circumventing traditional markets: an empirical study of the Marketplace motivations and out Comes of Consumers' do-it-yourself Behaviors*. Journal of Marketing Theory and Practice, vol. 21, no. 2 (spring 2013), pp. 195-209. ISSN 1069-6679 (print) / ISSN 1944-7175 (online) DOI: 10.2753/MTP1069-6679210205. Disponível em: (<http://www.diy-researchers.com/resources/Wolf%20and%20McQuitty%20013.pdf>) (Acedido a 5 de agosto de 2017)
- WOODYARD, Doug (2009).** *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. 9ª Edição, p. 92. Elsevier, (2009-08-18), ISBN 9780080943619
- Word Bank (2017a).** *Mobille Cellular Subscriptions (per 100 people)*. The World Bank. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/IT.CEL.SETS.P2> (Acedido a 11 de fevereiro de 2018)
- Word Bank (2017b).** *Regional Outlooks*. Disponível em: <http://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects> (Acedido a 14 de dezembro de 2017)
- World Bank (2010).** *Popular Indicators*, Data Bank. Disponível em: http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Code=N.V.AGR.TOTL.ZS&id=af3ce82b&report_name=Popular_indicators&populartype=series&ispopular=y# (Acedido a 26 de maio de 2016)
- World Bank (2018).** *GDP (Current US\$)*. Data. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (Acedido a 28 de fevereiro de 2018)
- World Economic Forum (2018).** *Global Battery Alliance*. WEF. Disponível em: <https://www.weforum.org/projects/global-battery-alliance> (Acedido a 13 de janeiro de 2018)
- World3D (2015).** *World3D Printing Technology Industry Association* Disponível em: <http://www.world3dassociation.com/HTML/en1.html> (Acedido a 8 novembro de 2017)

- WTO (2018). *Information Technology Agreement*. (World Trade Organization. Disponível em: https://www.wto.org/english/tratop_e/inftec_e/inftec_e.htm (Acedido a 12 de fevereiro de 2018))
- XIANG, Nina (2017). *It's the age of unicorns. And here's how China is ranking*. Finance, World Economic Forum. Disponível em: https://www.weforum.org/agenda/2017/07/its-the-age-of-unicorns-and-heres-how-china-is-ranking?utm_content=bufferbb9a0&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer (Acedido a 8 de agosto de 2017)
- YAMAZAKI, Taku (2016) *Development of A Hybrid Multi-Tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining* - Volume 42, 2016, Pages 81-86- Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116004777#page=1&zoom=auto,-82,842>. (Acedido a 2 de maio de 2017)
- YERKES, Christine (2007). *Lecture 29: Protein Structure and Denaturation*. UIUC - University of Illinois Urbana Champaign. Chem.uiuc.edu. Disponível em: http://butane.chem.uiuc.edu/cyerkes/chem104A_S07/Lecture_Notes_104/lect29c.html (Acedido a 18 de janeiro de 2018)
- YILMAZ, Orhan (2012). *Eti Maden and Global Boron Market, World Leader in Boron Sector*, Turkey Mining Summit, 4-7 june, 2012. Disponível em: [http://www.webstreetangels.com/Mining Presentations/0-940-Orhan-YILMAZ.pdf](http://www.webstreetangels.com/Mining%20Presentations/0-940-Orhan-YILMAZ.pdf) (Acedido a 15 de janeiro de 2018)
- YOO, Daniel (2015). *Made in China 2025*. VDMA, 2015 | id:8593010. Disponível em: <https://china.vdma.org/article/-/articleview/8593010> (Acedido a 25 outubro de 2017)
- YOO, Youngjin Yoo and KIM, K. (2015). *How Samsung became a design powerhouse*, December 2015. Harvard Business Review. Disponível em: <https://hbr.org/2015/09/how-samsung-became-a-design-powerhouse> (Acedido a 9 de agosto de 2016)
- ZEKRI, Mongi and OBREZA, Tom (2016). *Boron (B) and Chlorine (Cl) for Citrus Trees (PDF)*. IFAS Extension. UF - University of Florida. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/SS/SS61900.pdf> (Acedido a 8 de fevereiro de 2018)
- ZHOU, Feng; JI, Yangjian and JIAO, Roger Jianxin (2013). *Affective and cognitive design for mass personalization: status and prospect*. Journal of Intelligent Manufacturing, October 2013, Volume 24, Issue 5, pp 1047-1069. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-012-0673-2> (Acedido a 29 de maio de 2017)
- ZIENTEK Michael L. and LOFERSKI, Patricia J. (2014). *Platinum-Group Elements—So Many Excellent Properties*. Fact Sheet 2014-3064, july 2014. USGS - U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3064/pdf/fs2014-3064.pdf> (Acedido a 12 dezembro de 2016)
- ZIOLKOWSKA, J.R. and ZIOLKOWSKI, B. (2011). *Product generational dematerialization indicator: A case of crude oil in the global economy*. Energy, 26, 5925-5934.
- ZORODDU, M. A.; MEDICI, S.; PEANA, M.; NURCHI, V. M.; LACHOWICZ, J. I.; LAULICHT, J. e COSTA, M. (2017). *Tungsten or Wolfram: Friend or Foe?* Curr Med Chem. 24. doi: 10.2174/0929867324666170428105603 (Acedido a 6 de março de 2018)
- ZVEI (2017). *Die Elektroindustrie*. Disponível em: www.zvei.org (Acedido a 15 junho de 2017)
- ZWEIBEL, K. (2010). *The Impact of Tellurium Supply on Cadmium Telluride Photovoltaics*. Science. 328 (5979): 699-701. Bibcode:2010Sci...328..699Z. doi:10.1126/science.1189690. PMID 20448173.